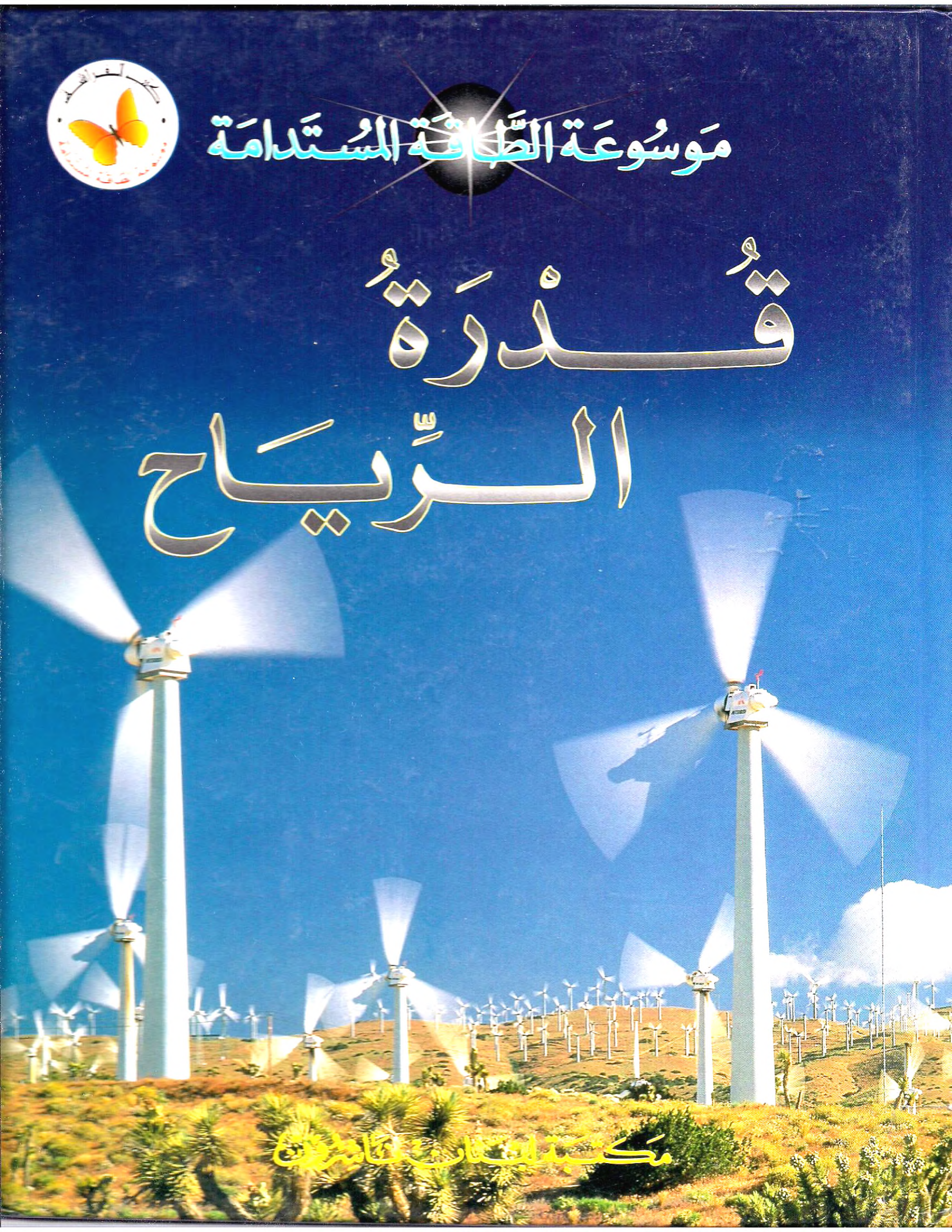
مَوسُوعَة الطَّاقَة المُستَدامَة

قُدْرَةُ الرِّيَاح



مكتبة لبنان ناشرون

مَوسُوعَة الطَّاقَة المُستَدامَة

قُدْرَةُ الرِّيَاح

إعْداد

أحمَد شفيق الخطيبْ

يوسُف سُليمان خَير الله

رَئيس التّحرير

أحمَد شفيق الخطيبْ

مَكتَبة لبْنان نَاشِرُون

المُحْتَويات

قُدْرةُ الرِّياح - تعريفٌ وتَقْييم	4
الرِّياح	6
قُدْرةُ الرِّياح عَبْرَ التاريخ	14
تِقانيَّات قُدْرةِ الرِّياح	20
اِستِخْدامُ قُدْرةِ الرِّياح	28
المُسْتَقبَل	44
مَسْردُ التَّعْريفات	46
مَعْلوماتٌ إضافيَّة	47
الفِهْرسُ العامّ	48

مَوسُوعَة الطَّاقَة المُستَدامَة

في هٰذهِ السِّلسِلة

- الوُقُودُ الأُحفوريَّة
- القُدرَةُ الشَّمسِيَّة
- القُدرَةُ النَّوَويَّة
- الطّاقَة الحَرارِيّة الأرضيّة وَالطّاقَة الحَيَويّة
- قُدرَة الرِّيَاح
- القُدرَة المَائيَّة

حُقوق الطبْع © مَكتَبة لبنَان نَاشِرُونَ شرلى - الطبعَة العَرَبيّة
حُقوق الطبْع © ويـــلانـــد ليـمِتد - الطبعَة الإنكْليزيّة

جَميع الحقُوق مَحفوظَة : لا يَجوز نشْر أيّ جُزء مِن هٰذا الكِتاب أو تَصويره
أو تخزينه أو تسَجيله بأيّ وَسِيلَة دُونَ مُوَافقَة خَطيَّة مِن النّاشِر.
مَكتَبة لبْنَان نَاشِرُونَ

www.ldlp.com

صُندوق البَريد 11-9232
بَيروت - لبْنان
وُكَلاء وَمُوَزّعون في جَميع أنحَاء العَالَم

الطّبعَة الأولى 2002
طُبع في لبْنان

ISBN: 9953-1-482-4

قُدْرةُ الرِّياح - تعريفٌ وتَقْييم

تَمْهيد

قُدْرةُ الرِّياح هي قُوّةُ الرِّيح مُستخدَمةً لِلقيام بشُغْلٍ مُجْدٍ، كرَفع المياه وتَوليدِ الكهرباء. وقُدْرةُ الرِّياح ألطَفُ بالبيئةِ من مُعظَم المصادرِ الطاقيَّةِ الأُخرى كالوُقُدِ الأُحْفوريَّةِ أو القُدرةِ النَّوَويَّة، لأنَّها تُحدِثُ قليلًا من التلوُّث. الرِّياحُ مَصْدرٌ مَجَّانيٌّ لِلطاقة يُمكِنُ تَسْخيرُه باستِخْدام الطواحينِ الهوائيَّةِ أو بَديلاتِها الحديثة - التُّربيناتِ الهوائيَّة. التُّربينُ الهوائيُّ أشبَهُ بمِرْوحةِ دَسْرٍ ثُنائيَّةٍ أو ثُلاثيَّةِ الأَرْياش مُثْبَتةٍ فوقَ بُرْجٍ عالٍ. هنالك قُرابةُ 200 000 تُربين هوائيّ قَيْدَ الاِستِعمال في مُختلِف أرجاء العالَم، يعملُ حوالى 50 000 منها فقَط في توليدِ الكهرباء؛ ويُستَخْدمُ الباقي في ضَخِّ المياه.

ورُغْمَ أنَّ الرِّيحَ ذاتَها مَجَّانيَّةٌ، فإنَّ قُدْرةَ الرِّياحِ حاليًّا أكثرُ تَكْلفةً من مَصادرِ القُدْرةِ الأُخرى. لكنَّ هٰذه التكاليفَ آخذةٌ بالتدنِّي بسُرعة. فتكاليفُ الكهرباء المُولَّدةِ بقُدْرَةِ الرِّياح، في أمريكا الشماليَّة حاليًّا هي أقلُّ من رُبْعِ تكاليفِها قَبْلَ عَشْرِ سَنَوات. والمَعلومُ أنَّ نِصْفَ القُدْرة الكهربائيَّة المُوَلَّدةِ في أرجاءِ العالَم بِقُدْرةِ الرِّياح يُنْتَجُ في الولاياتِ المتحدة الأمريكيَّة - تَليها في هٰذا المَجال دَولتا الدَّانِمَرك وأَلْمانيا.

إلى اليَمين: تَنْتَشِرُ التُّرْبيناتُ الهوائيَّةُ على مدًى شاسعٍ في الصحراءِ القريبة من پالْم سبرِنْغز، كاليفورنيا، بالولايات المتحدة الأمريكيَّة. وتُنْقلُ الكهرباءُ المُولَّدةُ بواسطةِ خُطوطِ نَقْلٍ مُعلَّقةٍ بين أبراجٍ فولاذيَّة كالتي تَبْدو في خَلْفيَّةِ الصُّورة.

فَوق: في كثيرٍ من البُلدان، الطواحينُ (أو المَكِناتُ) الهوائيَّةُ التقليديَّةُ الخفيضةُ التِّقانات أكثرُ مُتاحيَّةً وأنجَعُ عمليًّا من التُّرْبيناتِ الهوائيَّة العاليةِ التِّقَنيَّة. الطاحونةُ الهوائيَّةُ الكِريتيَّة هٰذه يَسْهُل إصلاحُها باستِخْدام المَهاراتِ والمَوادِّ المَحلِّيَّة.

حَقائقُ ومَعْلومات

تُعَرَّفُ التُّرْبيناتُ الهوائيَّةُ أيضًا بأنَّها مُحوِّلاتُ طاقة - كونَها تُحوِّلُ الطاقةَ من شَكْلٍ - هو طاقةُ حركةِ الهواء - إلى شكلٍ آخَر، هو الحَركةُ الدُّوَّاميَّةُ لِعَمودِ إدارةٍ يُمكِنُه تأديةُ شُغْلٍ. ففي السيَّارة يُديرُ عمودُ الإدارةِ أو الجُزْءُ المُدَوِّمُ الدَّواليبَ (العجَلات). وفي المُولِّد الكهربائيِّ يُديرُ عمودُ الإدارة المُدَوِّمُ اللفائفَ السِّلكيَّةَ الفلِزِّيَّةَ بينَ مِغْنَطيسَيْن لِتوليد الكهرباء. التُّرْبيناتُ الهوائيَّةُ المُوَلِّدة لِلكهرباء تُسَمَّى أيضًا مُوَلِّداتٍ هوائيَّةً. وتُحَدَّدُ قُدْرةُ التُّربينِ الهوائيّ بمُعَدَّلِ سُرعته في تحويلِ الطاقة وأداءِ الشُّغْل؛ وهي تُقاس بالكيلوواط (الكيلوواط = 1000 واط).

الرِّياح

لماذا تهُبُّ الرِّياح؟

تهُبُّ الرِّياحُ حولَ الأرض بِفِعْل الشَّمْس. فأثناءَ تَدْويم الأرض، تُسَخِّنُ الشَّمْسُ أجزاءًا مُختلِفةً من كَوْكبِنا بدَرجاتٍ مُتَفاوتة. فاليابِسةُ تحتَ سماءٍ صافيةٍ هي الأسرعُ حمُوًّا لأنَّ الغُيومَ تعكِسُ جُزْءًا من الطاقة الشمسيَّة مُعيدةً إيّاهُ إلى الفَضاء، فتُبَطِّئُ بذلك ظاهرةَ التَّسْخين. كما إنَّ اليابِسةَ أسرعُ تسَخُّنًا من البَحْر بسبب الحرارة (السَّعة الحراريَّة) النوعيَّة الأعلى للماء، وبفِعل الحركة المستمِرَّة لِتموّجات الماء في تبديد الحرارة. سطحُ الأرض الأسخنُ يُسَخِّنُ الهواءَ فوقَه فيَرْتفِع. وبِارْتفاعِه، يَهْبِطُ الهواءُ البارِدُ المُحيطُ لِيَحُلَّ محلَّه. هٰذه التحرُّكاتُ الهوائيَّةُ التي تُسَبِّبُها الشَّمْسُ هي الرِّياح.

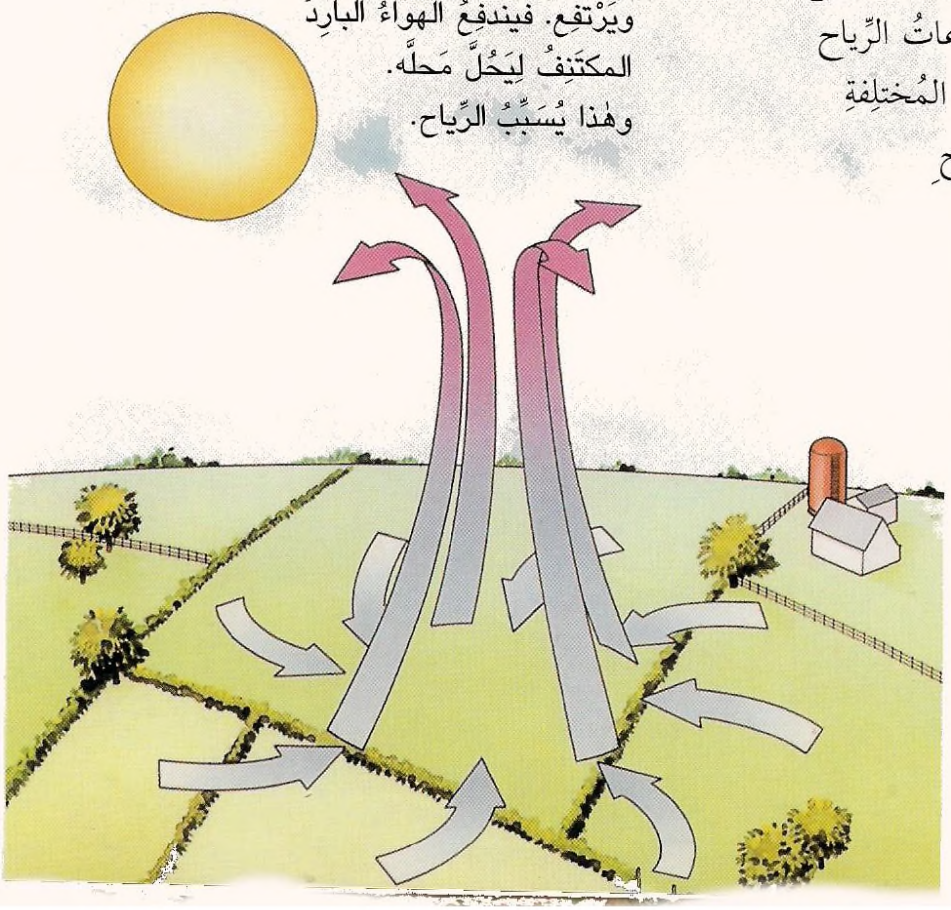
حَقائقُ ومَعْلومات

تَظْهرُ الغيُومُ في السَّماءِ عندما يَبْرُدُ الهواءُ الحارُّ الرَّطْبُ فتتكاثفُ الرُّطوبةُ اللامَرئيَّةُ فيه قُطَيراتٍ مائيَّةً. الهواءُ يَبْرُدُ عندما يَرتفِعُ عاليًا في الجَوّ - حيثُ دَرَجاتُ الحرارة أخفَضُ، أو عندما يُواجِهُ تيَّارًا من الهواءِ الأبرَدِ هابًّا نحوَه من مِنْطقةٍ أُخرى.

سُرْعاتُ الرِّياح

النَّسيمُ قد يكونُ مُبَرِّدًا لَطيفًا ومُنعِشًا في يومٍ صيفيٍّ حارّ، لكِنَّ الرِّياحَ قد تهُبُّ أيضًا بِسُرعاتٍ عاتِية. الرِّياحُ العَنيفةُ قد تكونُ خَطِرةً ومُدَمِّرة. سُرعاتُ الرِّياح واتِّجاهاتُها تَتفاوَتُ على الارتفاعاتِ المُختلِفةِ فوقَ سطْحِ الأرض. فبِمُسْتوى السَّطْحِ تُبَطَّأُ الرِّياحُ بتأثيرِ احتِكاكِها بسَطْحِ الأرض. وهيَ تهُبُّ بسُرعاتٍ أشدَّ على مُسْتوياتٍ أعلى. فعلى ارْتِفاعِ حوالى 10 إلى 15 كيلومترًا فوقَ سطحِ الأرض، تهُبُّ تيَّاراتٌ هوائيَّةٌ عنيفةٌ، تُدعى التيَّاراتِ الاندفاقيَّةَ بسُرعاتٍ مُعَدَّلُها 140 كيلومترًا في السَّاعة (كم/ سا) - مع العلم أنَّ سُرعتَها قد تبلُغُ 450كم/ سا أحيانًا.

يُبَيِّنُ هٰذا الرَّسْمُ كيفَ يَسْخُنُ الهواءُ في مُسْتَوى سَطْحِ الأرض ويَرْتفِع. فيندفِعُ الهواءُ البارِدُ المكتَنِفُ لِيَحُلَّ مَحلَّه. وهٰذا يُسَبِّبُ الرِّياح.



على ساحِل البَحْر في يومٍ مُشْمسٍ يرتفِعُ الهواءُ المُسَخَّنُ بِمُلامَستِه سطحَ اليابِسةِ الحارَّ، مُسْتَفِطًا الهواءَ الأبرَدَ (نسيمَ البَحْر) من البَحْر نحو اليابسة. وتَتكاثَفُ الرُّطوبةُ في الهواء الهابطِ فوقَ البَحْر وتُكوِّنُ سُحُبًا عندما تَرْتفِع. في اللَّيْلِ، تَبْردُ اليابسةُ أسرعَ من البَحْر. فيَنْعكِسُ اتِّجاهُ الرِّيح باستِفاطِ هواءِ البَحْر السَّاخِنِ المُرتفِع الهواءَ الأَبْردَ من اليابسة (نسيم البَرّ).

إلى اليسار: كُمُّ الرِّيح، الأُنبوبُ البَسيطُ من قُماشٍ مُدَلًّى من عَمود، مَشْهدٌ مألوفٌ في مئاتِ المَطاراتِ الصغيرة حولَ العالَم. إنَّ ارْتفاعَ الكُمِّ وزاويةَ مَيَلانه يُعطيان رَبابنةَ الطائرات فِكْرةً واضحةً عن قُوَّةِ الرِّيح واتِّجاهِها.

تأثيرُ الرِّياحِ في الأرض

تُؤثِّرُ الرِّياحُ في كوكبِ الأرض بطُرقٍ عديدةٍ مُختلِفة. فهي تُحْدِثُ الأمواجَ بِرَطْمِ سَطْحِ البَحْر، وتَسْفي رِمالَ الصَّحاري كُثْبانًا وتَذْرو الكُثبانَ حَبْةً حَبْةً من مَوقعٍ إلى آخَر. كما تُحْدِثُ عواصفَ رَمْليَّةً إعتاميَّةً بِذَرِّ ملايينِ أطنانِ الرِّمال في الهواء فوقَ الصحاري. وهي تَنْشُرُ حرارةَ الشَّمْس عَبْرَ الجَوِّ فتوزِّعُها على سطحِ الأرض بفارقٍ أقَلَّ. وهي قد تحمِلُ سُحُبَ التلَوُّثِ الهوائيّ مئاتِ الكيلومتراتِ بعيدًا عن مكانِ حُدوثِ التلَوُّث. كما قد تَعْتو فتُصبِحَ عواصفَ مُدَمِّرة.

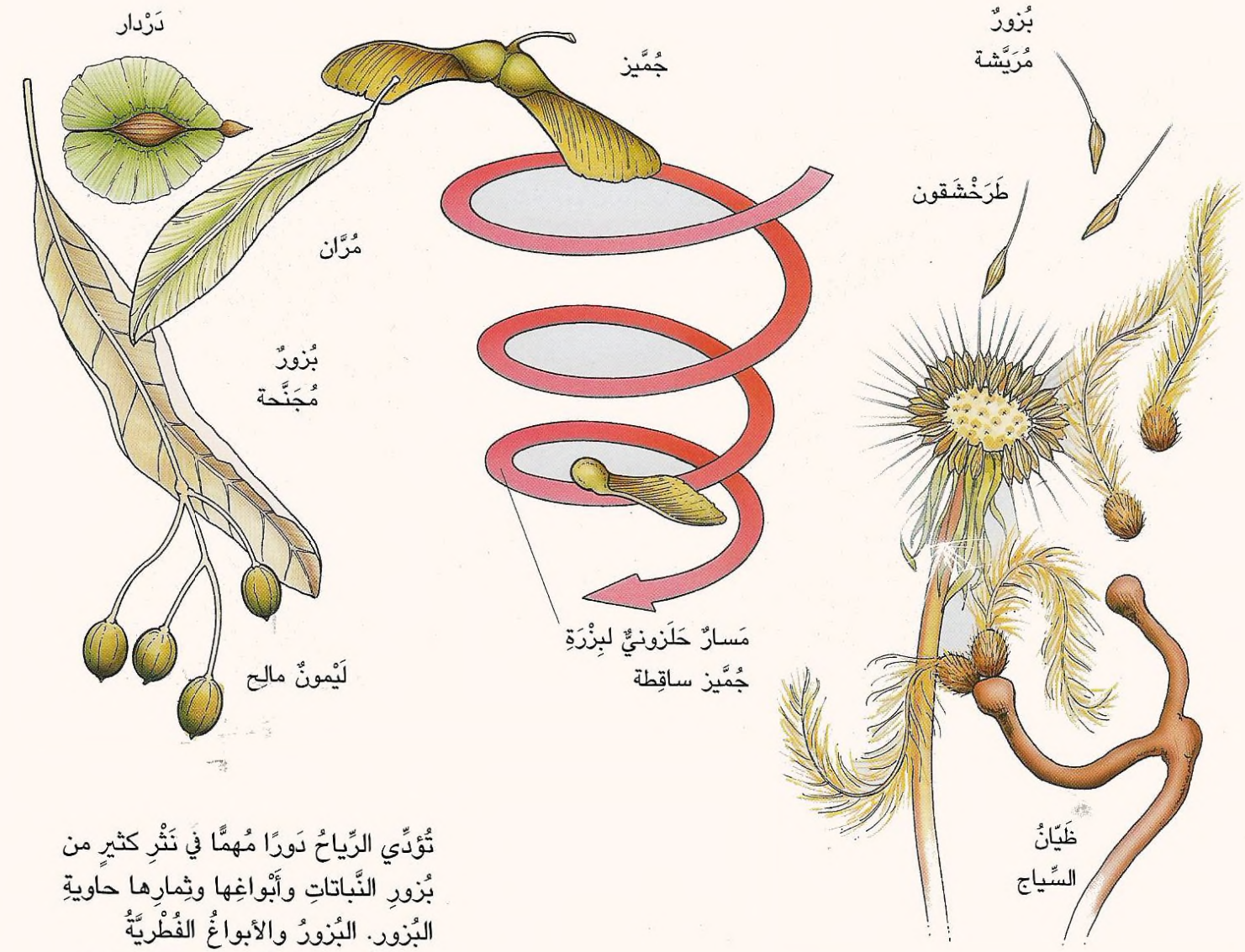
اِستِخْدامُ النّباتاتِ والحَيَواناتِ لِلرِّياح

البُزورُ والثِّمارُ النَباتيَّةُ الدقيقة هي من الخِفَّة بحيثُ يُمكِنُ لِلرِّيح حَمْلُها ونَثْرُها. وهٰذه وَسيلةٌ مُهِمَّةٌ لِانتِشار النَّباتاتِ على نِطاقٍ واسِعٍ إلى أماكنَ مُختلِفةٍ.

حَقائقُ ومَعْلومات

لَو لمْ يكُنْ لِلأرض جَوٌّ لكانَتْ دَرجاتُ حرارةِ سَطْحها مَثيلةً لِدَرجاتِ حرارة القَمَر. فجانِبُ القَمرِ المُنارُ بضوء الشَّمسِ حارٌّ إلى درجةٍ تكفي لإغلاءِ الماء؛ لكنْ عندما تَغيبُ عنه الشَّمْس، تَهْبِطُ درجةُ حرارتِه إلى -173°س (أي 173 درجة تحتَ الصِّفْر). في المقابِل فإنَّ الحرارةَ المُنْتشِرةَ عَبْرَ جَوِّ الأرض تُعَدِّلُ ما بينَ هٰذينِ الحَدَّيْن الأقصَيَيْن لِدَرجاتِ الحرارة.

السفينةُ البُولونيَّةُ وُدْنيكا، تَمْخُرُ عَبْرَ البَحْرِ الهائجِ على مَقْرُبةٍ من السَّاحلِ الأَلمانيّ. البَحَّارةُ لا يَجْهَلونَ قُدْرَةَ الرِّياح على تحويلِ البَحْر من بَحْرَةٍ راكِدةٍ إلى مِرْجَلٍ هائلٍ من الأَمواجِ المُزْبِدة.



إنَّ عدمَ نُموِّ النَّبتةِ الجديدة بجِوار النَّبتةِ الأُمِّ يَحْميهِما كِلَيْهما من المُنافَسةِ على المُغَذِّياتِ والضوء. والرِّيحُ أيضًا تَنْقُلُ الروائحَ إلى مَسافاتٍ بعيدة. وهي بذلك تساعِدُ الحيواناتِ التي تَسْتشِفُّ هٰذه الروائح - منَ العُثِّ والجُعْلان حتَّى الذئابِ والغِزْلان - في البَحْثِ عن الطعام أو في تجَنُّبِ الحيواناتِ المُفْتِرسة. كذلك تُمَكِّنُ الروائحُ، التي تَنْقلُها الرِّياح، بعض الحيوانات من إيجادِ أُلَفائها في مَوسِم التزاوج. كما إنّ قِلَّةً من الحيواناتِ الصغيرةِ كالأَرْق (المَنّ) تعتمِدُ على التيَّاراتِ الهوائيَّة لِحَمْلها من مِنْطقةِ عَيشٍ إلى أُخرى.

تُؤدِّي الرِّياحُ دَورًا مُهمًّا في نَثْرِ كثيرٍ من بُزورِ النَّباتاتِ وأَبْواغِها وثِمارِها حاويةِ البُزور. البُزورُ والأبواغُ الفُطْريَّةُ الدقيقةُ تَنْتشِر كالغُبارِ على مَدًى أبعَدَ وأوسَعَ. كذلك تُنْشَرُ البُزورُ والثِّمارُ الشَّعْريَّةُ والرِّيشيَّةُ إلى مَسافاتٍ بَعيدة. بعضُ ثِمارِ الشَّجَر مُزَوَّدةٌ بأجْنحةٍ تُبَطِّئُ سُقوطَها فتُتيحُ لِلرِّيح وَقْتًا أطولَ لِتَنْقُلَها مَسافاتٍ أبعَدَ عن الشَّجرةِ الأُمّ قد تبلُغ 2 كم.

أين تَهُبُّ الرِّياحُ بالقُوَّة الأشَدِّ؟

تَتفاوتُ شِدَّةُ الرِّياح كثيرًا من مكانٍ إلى آخَر، ومن حينٍ إلى آخَر، تَبَعًا لِطبيعةِ الطَّقْس والفَصْلِ من السَّنة. لكِنَّ مُعَدَّلَ سُرعاتِ الرِّياح واتِّجاهاتِها، في بعضِ الأماكن، شِبهُ ثابتةٍ، فيُمكِنُ التنبُّؤ بها غالبًا. وقد اكتشفَ البَحَّارةُ، منذُ مئاتِ السنين، مواقِعَ رياحٍ يُعَوَّلُ عليها لِدَفْعِ سُفنِهم (الشِّراعيَّةِ) عَبْرَ المُحيطات. وقد اعتمدَتِ التِّجارةُ بينَ قارَّاتِ العالَم الرئيسيَّة على هٰذه الرِّياح، التي غدَتْ تُعرَفُ بالرِّياح التِّجاريَّة. وهٰذه الرِّياحُ تَهُبُّ من أواسطِ نِصْفَي الكُرةِ الشَّماليّ والجَنوبيّ نحوَ خطِّ الاِسْتِواء – الخطِّ الوَهْميِّ حولَ وَسَطِ الكُرة الأرضيَّة.

حَقائقُ ومَعْلومات

يَرتفِعُ الهواءُ الحارُّ عند خَطِّ الاِستِواء، فيَبْرُدُ ويَهْبِطُ فوق المِنْطقةِ بينَ المَدارَيْن. بعضُ هٰذا الهواء يُعادُ استِفاطُه نحو خطِّ الاِستِواء مُكَوِّنًا الرِّياحَ التِّجاريَّة، وينتَشِرُ الباقي نحوَ القُطبَيْن مُكوِّنًا حِزامًا من الرِّياحِ المَعْروفةِ بالغَرْبيَّات (الرِّياحِ الغربيَّة).

وبفِعْل الضغطِ العالي فوق القُطْبَين يُحَرَّكُ الهواءُ خارجيًّا (بعيدًا عنهُما) في مُواجَهة الرِّياحِ الغربيَّة، مُكوِّنًا حِزامًا من الطَّقْسِ غيرِ المُسْتَقِرّ.

وبدَورانِ الأرض تَنْحَرِفُ الرِّياحُ إلى اليمين في نِصْفِ الكُرة الشَّماليّ وإلى اليَسار في نِصْفِ الكُرة الجَنوبيّ.

يعتمِدُ هُواةُ الطائراتِ الوَرَقيَّة على رياحٍ قَوِيَّةٍ لِحَمْل طيَّاراتِهم عاليًا. مِهْرجانُ الطائراتِ الوَرقيَّة هٰذا في دييپ، على السَّاحلِ الفَرنْسيِّ الشَّماليِّ، يَفيدُ من الرِّياح المُندفِعَةِ عَبْرَ القنالِ الإنكليزيّ الضيِّق – المَمَرِّ البَحْريّ بين فرَنْسا وإنكلترا.

نحنُ، اليومَ، نَستخدِمُ الرِّياحَ بِطُرقٍ وأساليبَ مُختلِفةٍ، لكِنَّا لا نَزالُ بحاجةٍ إلى مَعْرفةِ أماكنِ تواجُدِ الرِّياحِ الأكثَرِ مُعْتَمَدِيَّةً. إنّ تشغيلَ المُولِّداتِ والمِضَخَّاتِ العامِلةِ بقُدْرةِ الرِّياح يتطَلَّبُ سُرعاتٍ هوائيَّةً، لا تَقِلُّ عن 15 إلى 20 كم/ سا. وأفضَلُ الأماكن لإقامةِ هذه المُعَدَّاتِ هي الشِّعابُ والمُتونُ الجَبليَّةُ والسَّواحِلُ وشواطئُ البُحَيْراتِ الكبيرة.

صُمِّمَتْ سُفنُ الشَّاي الشِّراعيَّةُ بِهياكِلَ ضيِّقةٍ وأشرعةٍ ضَخْمة تَوَخِّيًا لِلسُّرعة. ففي القَرْنِ التاسِعَ عَشَر، كانتْ هٰذه السُّفن تَتَسابَقُ بين الصِّين وأوروبا لإيصالِ أُولى شِحْناتِ الشَّاي – أغلَى الشِّحْنات ثَمَنًا.

مقياسُ بُوفُورْت

في القَرْنِ التاسِعَ عَشَر، اِستَنْبَطَ العميدُ البحريُّ البريطانيّ، السِّير فَرنْسيس بُوفُورْت (1774-1857)، مِقياسًا لِسُرعاتِ الرِّياح. المِقياسُ مُدَرَّجٌ من صِفْر إلى 12 دَرَجة، بحيثُ يُمَثِّلُ النَّسيمُ علَيه بالمَدى بين 2 لِلخَفيف وَ4 لِلمُعتدِل وَ6 لِلقَويّ، وتُمَثِّلُ الأنواءُ بالمَدى بين 7 إلى 9 دَرجات كعواصفَ تقارِبُ سرعةُ الرِّياح فيها 85 كم/ سا. وقد قَدَّر بُوفُورْت سُرعاتِ الرِّياح بمُلاحظتِه تأثيرَها في الأشياءِ من حَوْله. فرِياحُ الأنواءِ تجعَلُ الأشجارَ تَتمايلُ بكاملِها والأغصانَ تتقَصَّفُ، فيما رياحُ الأعاصير (بين درجات 10 إلى 12) تَقْتلِعُ الأشجارَ وتُثيرُ أمواجَ البَحْر إلى علُوِّ عدَّةِ أمتار فيترغَّى سطحُه بالزَّبدِ والتَّرشاش.

حَقائقُ ومَعْلومات

العواصفُ الدُّوَّاميَّةُ المَداريَّةُ لها أسماءٌ مُختلِفةٌ تبَعًا للمُحيط الذي تَحْدُثُ فيه. فهي تُدعى أعاصيرَ في المُحيطِ الأطلسي وسَيكْلوناتٍ في المُحيط الهِنْدي وتَيْفُوناتٍ في المُحيط الهادي.

الطُّرناداتُ والأعاصير

الطُّرناداتُ التي تَتكوَّنُ فوقَ اليابسةِ، والعواصفُ التي تحمِلُها المُحيطاتُ تُحْدِثُ أقْسَى الظروفِ الجويَّة على سَطْح الأرض. العواصفُ البَحْريَّةُ الدُّوَّاميَّةُ الضخمةُ تدعى الأعاصير، وقَد تَهُبُّ رِياحُها بسُرعةٍ تَفوقُ 250 كم/ سا. وهي تُلحِق بالسَّاحلِ عند بلُوغِها إيَّاهُ أضرارًا فادحةً قبْلَ أنْ يُبطِّئَها الاحتِكاكُ بسَطْح اليابسة. والطُّرناداتُ تُدَوِّمُ بسُرعةٍ أشَدَّ من الأعاصير بحيثُ تُقارِبُ سُرعةُ الرِّياح فيها 500 كم/ سا. وهي في مَسارِها قد تستفِطُ السيَّاراتِ والمراكبَ وحتّى المَباني الخَشَبيَّةَ إلى ارْتِفاعاتٍ عاليةٍ في الجَوّ. إنَّ قطعةً من قَشَّةِ شُرْبٍ مُنْدفِعةً طُرناديًّا بِسُرعةٍ تفوقُ 300 كم/ سا قد تَقْتلُ شَخْصًا إنْ أصابَتْه.

التقطَتْ مُصَوِّرةٌ (كاميرا) على مَتْنِ ساتِلٍ يَدورُ حولَ الأرض هٰذا المَنْظرَ الواضِحَ لإعصار. وفيه تَظْهَرُ كُتْلةٌ عِملاقةٌ مُدَوِّمةٌ من السُّحُب تَتَنامى طاقِيًّا فوقَ المُحيط.

فَوق: مَبانٍ مُهدَّمةٌ وأشجارٌ مُحطَّمةٌ مُنْتَثِرةٌ في أعقابِ الإعصار مارِيلين في جُزُر العَذارَى، شرقي جُزر الأنتيل الكُبْرى، عام 1995. والمعروفُ أنَّ خطَرَ الأعاصير الأشَدَّ يتجَلَّى عندَ عُبُورِها السَّاحِلَ من البَحْرِ إلى اليابِسة.

تيَّاراتُ الهواء المُدَوِّمةُ لَولبيًّا تُكوِّنُ زَوْبَعةً

أنقاضٌ تُسْتَقَطُ إلى مَركز الزَّوبَعة

تتَنَشَّأُ الطُّرناداتُ من سُحُبٍ عاصفيَّةٍ عِمْلاقةٍ مُسَطَّحةِ القِمَّةِ تُدعى الرُّكاميَّة الرَّعديَّة. يرتفِعُ الهواءُ ويَهْبِطُ ويُدَوِّمُ داخِلَ هٰذه السُّحُب. فإذا هبطَ هواءٌ باردٌ إلى قاعدةِ السَّحابةِ الرُّكاميّة الرَّعديَّة، ونقَلَ الحركةَ الدُّوَّاميَّةَ سَفْلًا إلى الأرض، فإنَّهُ يُوَلِّدُ طُرنادًا.

يَنْدفِعُ الهواءُ المَداريُّ الرَّطْبُ نحوَ الدَّاخِل

قُدْرَةُ الرِّياحِ عَبْرَ التاريخ

تَسْخيرُ الرِّياح

اِستَخْدمَ الناسُ الرِّياحَ مُنْذُ آلافِ السِّنين. ولعَلَّ أوَّلَ نَبيطةٍ ميكانيكيَّةٍ صُنِعَت لِاستِخْدامِ الرِّياح كمَصْدرٍ لِلقُدْرةِ كانتِ المركبَ الشِّراعيّ. فالمراكبُ والسُّفنُ الشِّراعيّةُ مَكَّنَتِ الناسَ في بُلدانٍ مُختلِفةٍ من المُتاجَرةِ بعضُها مع بعض. واقتَضَت أساطيلُ السُّفن الشِّراعيَّةِ المُستَخْدَمةُ في التِّجارةِ الدوليَّة أو في صَيْدِ الأسماك في عُرْض البَحْرِ بناءَ المرافِئ والمَراسي لِتلك الأساطيل. واجتذَبت هٰذه المَرافئُ الناسَ طلبًا لِلعَمل كما المؤسَّساتِ القادرةَ على تَزْويدِ السُّفنِ باحْتياجاتِها. وهٰكذا نَمَتِ المُدُنُ الكبيرةُ حولَ المرافئ الأكثرِ أهميَّةً. هٰذا وقد نقلتِ السُّفنُ الشِّراعيَّةُ الرُّوَّادَ والمُستكشفين آلافَ الكيلومترات في رِحلاتٍ شهيرةٍ حولَ العالَم إلى بلادٍ ومناطقَ جديدةٍ، كما نقلَت عَبْر العالَمِ أيضًا جُيوشًا غازيةً.

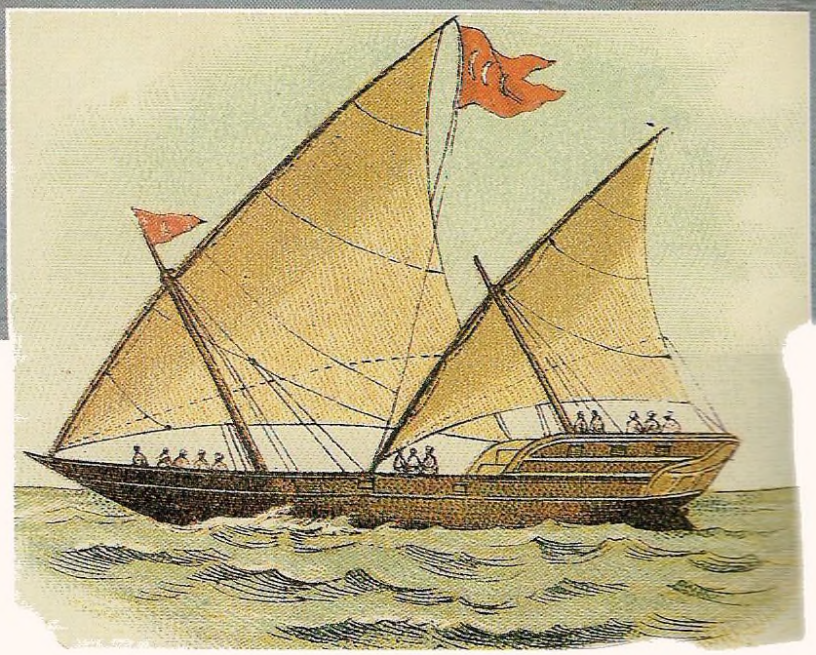
في البِداية، كانَتِ المراكبُ الشِّراعيَّةُ مُجهَّزةً بأشْرِعةٍ مُرَبَّعة تَدْفَعُها باتِّجاه الرِّيح. لكِنَّ البَحَّارةَ العَرَب ابتكروا شِراعًا مُثَلَّثيَّ الشَّكْل يُمَكِّنُ من الإبحارِ ضدَّ الرِّيح. ولا تَزالُ اليُخوتُ الشِّراعيَّةُ الحديثةُ تَسْتَخْدِمُ هٰذه الأشرعةَ لاستِحواذِ الرِّيح بهٰذه الطريقة.

الشَّكْلُ المُقوَّسُ لِلشِّراعِ المُثَلَّثيِّ يُسَرِّعُ الرِّيحَ الهابَّةَ عَبْرَه خافِضًا ضَغْطَ الهواء أمامَ الشِّراع. وبهٰذا الخَفْضِ يُسْتَفَطُ المَرْكبُ قُدُمًا.

حَقائقُ ومَعْلومات

لِلرِّياحِ أحيانًا تأثيراتٌ غيرُ مُتوَقَّعة. ففي عام 1588، هَزمَ الأُسطولُ البريطانيُّ الأَرمادا الإسبانِيَّةَ في بَحْر الشَّمال لأنَّ الرِّياحَ العاتِيةَ منعَتِ السُّفُنَ الحربيَّةَ الإسبانيَّةَ من العَودة إلى إسبانيا عَبْرَ القنالِ الإنكليزيّ. فاضطرّت تِلكَ السُّفنُ إلى الإبحارِ شَمالًا حولَ الجُزُرِ البريطانيَّة؛ حيثُ تحطَّم ما لا يقِلُّ عن 25 سفينةً في العواصفِ الهَوجاء. وقد اكتُشِفَ بعضُ حُطام تلك السُّفُن ودُرِسَ. ونحنُ نعرِفُ اليومَ الكثيرَ عن السُّفُن الحربيَّةِ الإسبانيَّة في القَرْنِ السادِسَ عَشَر نَتيجةً لفِعْلِ رِياحٍ هَبَّت منْذُ أكثرَ من 400 سنة.

نَسيمٌ لَطيفٌ يَدْفعُ الفُلَيْكاتِ عَبْرَ نَهْر النِّيل في أسوان، بمِصر. لقد طُوِّرَت الفُلَيْكَةُ في إسبانيا، ثُمَّ انتشرَت عَبْرَ البَحْر الأبيض المُتوَسِّط إلى البَحَّارةِ العَرَب في نَهْر النِّيل.



إلى اليَمين: في القَرْنِ الثاني عَشَر، ابتكرَ البَحَّارةُ العَرَب نَمَطًا جديدًا من القُلوع لِمَراكبهم الشِّراعيَّة المُسَمَّاة العَدَوْليَّة. هٰذه القلُوعُ المُثلَّثيَّةُ يَسَّرت للعَدَوْلِيَّات الإبحارَ في أيِّ اتِّجاهٍ تقريبًا، مهما كانَ اتِّجاهُ الرِّيح.

تَوليدُ القُدْرةِ من الرِّياح

كانت الطاحونةُ الهوائيَّةُ أوَّلَ مَكِنةٍ صُمِّمتْ لاستِخْدامِ قُدْرةِ الرِّياح في أداءِ شُغْلٍ على اليابِسة. ولم تكُنِ الطواحينُ الهوائيَّةُ مَعْروفةً لَدى أيٍّ من الشُّعوب القديمة. فقد تمَّ اختِراعُها في حوالى القَرْن السابعِ الميلاديِّ في البُلدان التي تُعرَفُ اليومَ بإيران وأفغانستان ومنها انتشرت إلى الشرقِ الأوسط والهِنْد، ومن ثَمَّ إلى الصين في الشرق الأَقصى. هٰذه الطواحينُ الهوائيَّةُ الأُولى كانت تُستَخْدمُ في طَحْنِ الحُبُوبِ بين حجَرَي رَحَى لإعداد الخُبْز، أو في رَفْعِ المياه من الأَنهار لِرَيِّ الأراضي الزراعيَّة.

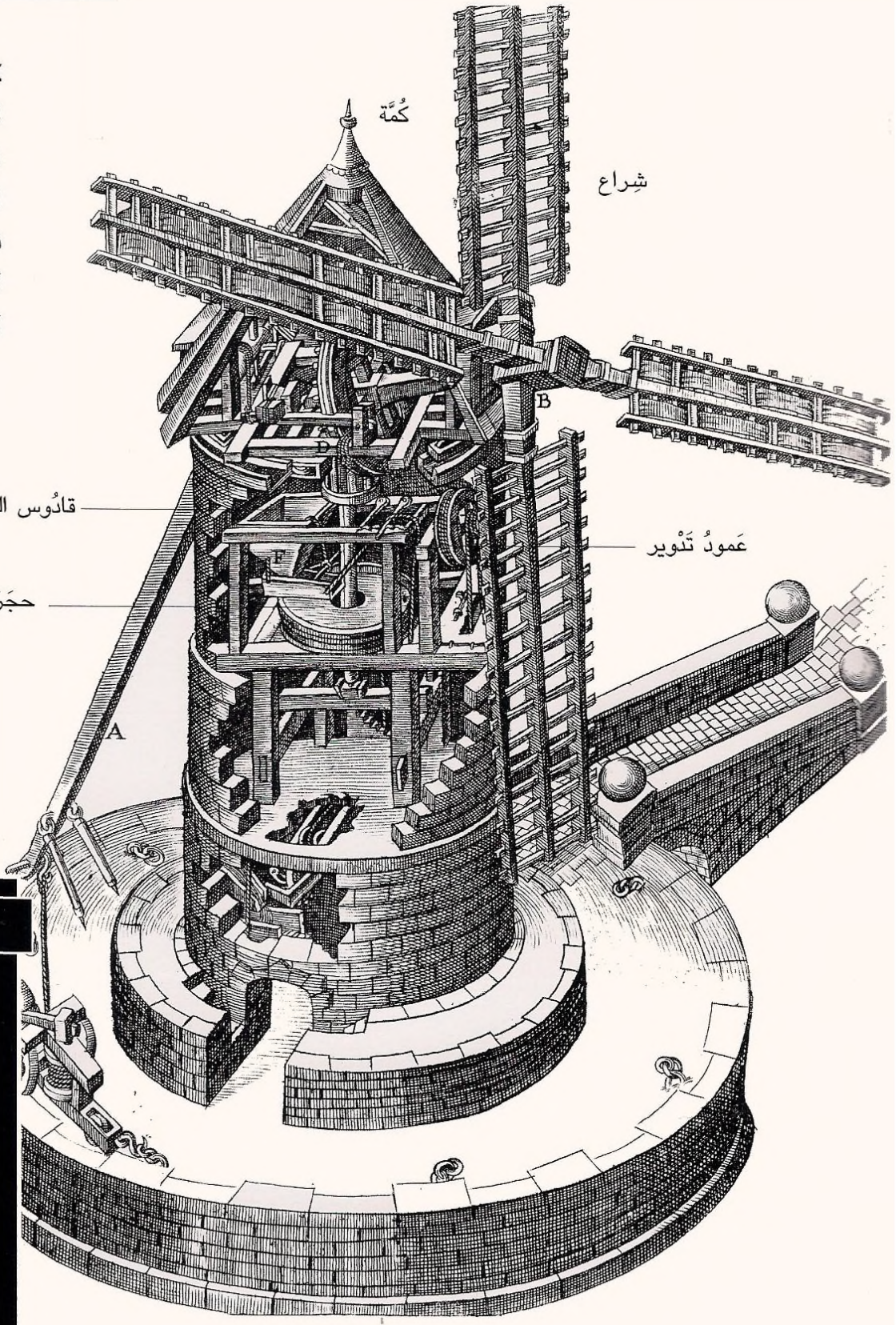
شَكلُ الطواحينِ الهوائيَّةِ الأُولى

الطواحينُ الهوائيَّةُ الأُولى كانت مُختلِفةَ الشكل تمامًا عن الطواحين الهوائيَّةِ الهُولنديَّة التقليديَّة التي نتصوَّرُها. فأشرعتُها التي قد تبلغُ 12 شِراعًا، كانت تُعَلَّق من عمودٍ رأسيٍّ كأشرعةِ مركبٍ مُدلاةٍ من صارٍ ومن أطرافٍ وعوارضَ شراعيَّة. ولعَلَّ هٰذا التصميمَ استُلْهِمَ من أشرعةِ السُّفنِ أو رُبَّما من أُسْطُوانات دواليبِ الصلاة المُدارةِ بطاقةِ الرِّياح التي كان البوذيُّونَ يَستَخْدِمُونها عَبْرَ القارَّة الأسيويَّة.

داخِلُ طاحونةٍ هوائيَّةٍ أوروبيَّةٍ تقليديَّة: هنالك دُولابٌ مُسَنَّنٌ كبير تُديرُه الأشرعة. وهٰذا بدوره يُديرُ دُولابًا صغيرًا مُرتبطًا بأحدِ حَجَرَي الرَّحَى. تُلْقَمُ الحبوبُ من قادوسٍ عَبْرَ ثَقْبٍ في وَسَطِ حَجَر الرَّحَى العُلْويّ. وبدَورانِ الطاحون تُسحَقُ الحبُوبُ بين حجَرَي الرَّحَى الثقيلَيْن وتَخرُجُ طحينًا (دقيقًا) ناعِمًا صالِحًا لِصُنْع الخُبْز.

لا تزالُ الطواحينُ الهوائيَّةُ مَشْهدًا مألوفًا في بُلدان البَحْرِ الأبيض المُتَوسِّط. هٰذه الطاحونةُ الهوائيَّةُ التقليديَّةُ المَسْقُوفةُ بالقَشِّ مُقامةٌ في الجزيرة اليونانيَّة مايكونوس. ويلاحَظُ أنَّ شِراعَها هو مَجْموعةُ أَذرعٍ، أشبَهُ بِبَرامقِ دُولابٍ موصولٍ بها قِطعٌ من القُماش مُثلَّثيَّةُ الشَّكْل.

كانت الطواحينُ الهوائيَّةُ الأوروبيَّةُ الأُولى تُحَرَّكُ يدَويًّا لِتوضيع أشرِعتِها في مُواجهة الرِّيح. في الطاحونةِ البُرْجيَّةِ، المُبيَّنةِ هنا، القِسمُ العلويُّ فقَط الذي يحمِلُ الأشرعةَ هو الدوَّار. أمّا البُرْجُ نَفْسُه، المَبْنيُّ من الحِجارةِ أو الطُّوب فهو ثابتٌ لا يتحَرَّك.



حَقائقُ ومَعْلومات

في النَّمطِ الهولنديِّ التقليديِّ لِلطواحينِ الهوائيَّة، كانت سرعةُ دَورانِ الأشرعة تُضْبَطُ بواسطةِ سِدلاتٍ غلَقيّةٍ فيها. فعندما تُفْتَحُ السِّدْلاتُ يَهُبُّ بعضُ الهواءِ عَبْرَ الأشرعة، فتَبْطؤُ سُرعتُها. أمّا عندَ غَلْقِ السِّدْلات فإنّ الرِّيحَ تَضْغَطُ على كامِلِ مِساحةِ الشِّراع فتُديرُ الأشرعةَ بسُرعةٍ أشَدّ.

الطواحينُ الهوائيَّةُ في أوروبا

لمْ تُعرَفِ الطواحينُ الهوائيَّةُ في أوروبا حتَّى القَرْنِ الثاني عَشَر، أي بعدَ ظُهورِها في الشَّرق الأوسَط بِـ 500 سنة. فالجُنودُ العائدونَ من الحَملاتِ الصليبيَّة حَملوا مَعهُم قِصصًا عن الطواحين الهوائيَّةِ وتَوصيفًا لها. وتلَقَّفَ الأوروبيُّونَ فِكْرةَ استِخْدامِ الرِّياح في تَوليدِ القُدْرة وابتكَروا نَمطًا جديدًا من الطواحين، يُسَمَّى طاحونةَ العَمود. في هٰذه الطاحونةِ تَدورُ المُنْشأةُ بِكاملها حولَ عمودٍ مَرْكزيٍّ بحيثُ تُواجهُ أشرِعتُها الرِّيح. ثُمَّ طُوِّرت لاحقًا طاحونةٌ أبْسَطُ هي طاحونةُ البُرْج حيثُ لا يَدورُ بِمُواجَهة الرِّيحِ إلّا قِمَّةُ المُنشأةِ التي تحمِلُ الأشرِعة.

قُدْرةُ الرِّياحِ بالمُقارنة معَ قُدْرةِ الماء

لِلطواحين الهوائيَّةِ مِيزَتان رئيسيَّتانِ على الطواحينِ المائيَّة؛ أُولاهما عَدمُ الحاجةِ إلى نَصْبِها على مَقْرُبةٍ من مَجاري المياه وثانيَتُهما إمكانيَّةُ استِمرارِ دَورانها في فَصْلِ الشِّتاء عندما تتجمَّدُ المياه. كذلك فإنَّ الأنهارَ الصالحةَ لإقامةِ الطواحين المائيَّة، كانت تَخضَعُ غالبًا لِسُلطان أصحابِ الأَملاك المُجاوِرة المُسَيطِرين، الذي بِيَدِهم اختيارُ الأشخاصِ المَسْموحِ لهُم بإقامة طواحينَ لِطَحْن الحُبوب. في حين أنَّ الطواحينَ الهوائيَّةَ يُمكِنُ إقامتُها حيثُما كان، وبإمكان أيٍّ كان أنْ يُصْبِحَ طحَّانًا. وهٰكذا بدأتِ الطواحينُ الهوائيَّةُ تُحَرِّرُ الناسَ العاديِّين من سُلْطةِ أَصحابِ الأَملاك.

أقدمُ الطواحينِ الهوائيَّةِ الأوروبيَّةِ كانت من نَمطِ طاحونة العَمود. وكانت طاحونةُ العمود مُرهِقةَ التشغيل، لأنَّه كان من الضروريِّ إدارتُها يَدويًّا لإبقاءِ الأشرعةِ مُوضَّعةً في مُواجَهةِ الرِّيح. والمعروفُ أنَّه لم يتَبَقَّ من هٰذه الطواحينِ حتَّى يومنا هٰذا إلّا قلَّةٌ قليلة – هٰذه إحداها في جزيرة أُولانْد جنوبِ غرب السويد.

حَقائقُ ومَعْلومات

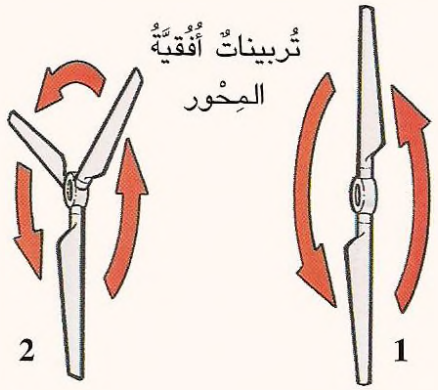
عَدتِ الطواحينُ الهوائيَّةُ مَعْلَمًا مألوفًا جدًّا في الأريافِ الأوروبيَّة. فقد أخذَ الهولنديُّون، منذُ القَرْنِ الثاني عَشَر، يَستَخدِمون طواحينَ الهواءِ لِضَخِّ المياه واستِصْلاحِ الأراضي من بَحْر الشَّمال. وبعدَ قَرْنٍ من الزَّمن، كانت بعضُ المُدُنِ في فَرَنْسا مُحاطةً بما يُقارب 120 طاحونةً هوائيَّة. وفي القَرنِ الثامِنَ عَشَر، كان هنالك أكثَرُ من 700 طاحونةٍ هوائيَّة على طولِ نَهْر الزَّآن في هولَنْدا.

الذَّيلُ المِروحيُّ – الدولابُ الصغيرُ في أعلى طاحونةِ البُرْج هذه – اختُرِعَ في القَرْنِ الثامِنَ عَشَر لِتوضيع الأشرعةِ في مُواجَهةِ الرِّيح أُوتوماتيًّا. فالرِّيحُ تُديرُ الذَّيلَ المِرْوحيَّ الذي بدَوره يُدَوِّرُ قِمَّةَ الطاحونة. عندما تكونُ الأشرعةُ مُوَجَّهةً ضدَّ الرِّيح، يَكون حَرْفُ الذَّيل المِرْوحيِّ في مُوازاةِ الرِّيح فيَتوَقَّفُ عن الدَّوران.

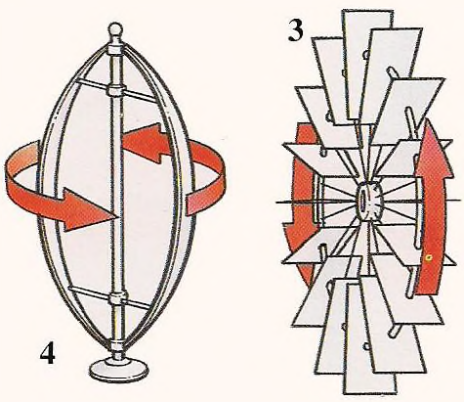
تِقانيَّات قُدْرةِ الرِّياح

أَنْماطُ التُّرْبينات الهوائيَّة

هنالك نَمطانِ رئيسيَّان من التُّرْبيناتِ الهوائيَّةِ - أحدُهما أُفُقيُّ المِحْورِ والآخرُ عَمُوديُّ المِحْور. عمودُ الإدارة الرئيسيُّ في التُّرْبينِ الهوائيِّ الأُفُقيِّ المِحْور يكون مُتَوازيًا مع سَطْحِ الأرض. أمَّا في التُّرْبينِ العموديِّ المِحْور فيكونُ عَمودُ الإدارة الرئيسيُّ مُنْتصِبًا عموديًّا بزوايا قائمةٍ مع سَطْح الأرض، كالطواحين الهوائيَّةِ الفارسيَّةِ الأُولى.

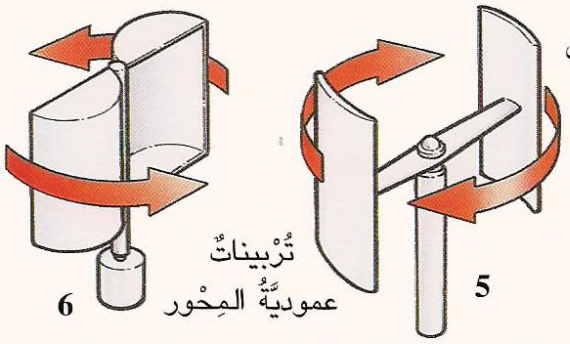


التُّرْبيناتُ الهوائيَّةُ الأَقدمُ، بخاصَّةٍ تلك التي استُخْدِمَت في المَزارعِ ومَرابي المَواشي في الوِلايات المتحدة الأمريكيَّة في القَرْنِ التاسِعَ عَشَر، كانت مُتَعدِّدةَ الأرياش. أمَّا التُّرْبيناتُ الحديثةُ فهي غالِبًا ذاتُ ريشتَيْنِ أو ثلاث. وتكونُ الأرياشُ مُسَطَّحةً، مُقوَّسَةً أو إسفينيَّةَ الشَّكْل، بحيثُ يُمكِنُ تَوجيهُ مِساحَتِها السطحيَّةِ القُصوى باتِّجاه هُبوبِ الرِّيح.



مَشاكِلُ الوَزْن

المُشكِلُ الرئيسيُّ لِلتُّرْبين الهوائيِّ الأُفُقيِّ المِحْور هو أنَّ صندوقَ تُروس السُّرعةِ والمُولِّدَ الكهربائيَّ الثقيلَي الوَزْن مُرَكَّبان في أعلى البُرج، الذي يَنْبغي أنْ يكونَ قويًّا بما فيه الكِفاية لِيَحْمِلَهُما. كذلك فإنَّ من العَسير الوصولَ إلى هٰذه المُعَدَّاتِ لِلعَمل على صِيانتِها وإصلاحها. أمَّا في التُّرْبيناتِ الهوائيَّةِ العموديَّةِ المِحْور فإنَّ كُلَّ المُعَدَّاتِ الثقيلةِ مُثَبَّتةٌ على الأرض - فيُمكِنُ جعلُ البُرجِ أنْحَفَ وأخفَّ كثيرًا.



اِستِخْدامُ الرِّياحِ من مُختلِف الاِتِّجاهات

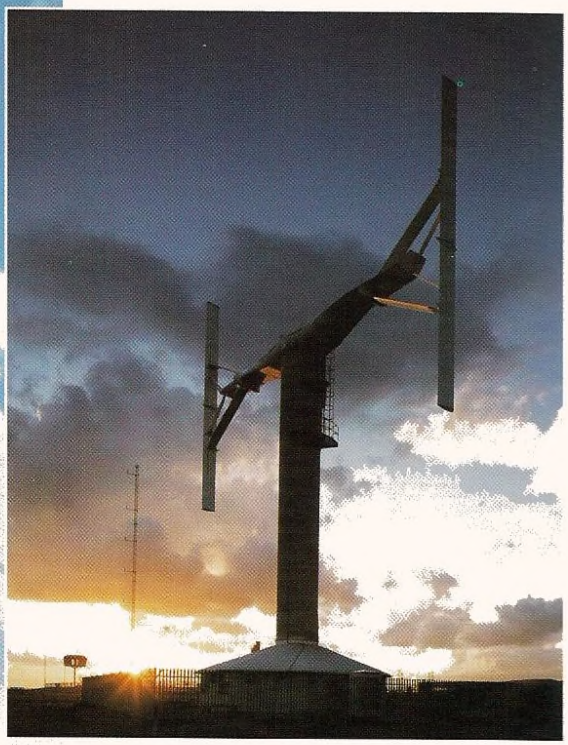
التُّرْبيناتُ الهوائيَّةُ الأُفُقيَّةُ المِحْور يَنْبغي أنْ تُدارَ لِتُوضَع ضِدَّ الرِّيح كي تؤدِّي عمَلَها على أفضلِ وَجْه. لِذا، فهي تتَطلَّبُ تُروسَ تحَكُّمٍ ثقيلةً ومُعقَّدة. أمَّا التُّرْبيناتُ الهوائيَّةُ العموديَّةُ المِحْور فلا داعيَ لإدارتِها ضدَّ الرِّيح - إذْ هي تؤدِّي عملَها بالجُودة نفسِها مَهما كان اتِّجاهُ الرِّيح.

في التُّرْبيناتِ الهوائيَّةِ الأُفقيَّةِ المِحْور (3, 2, 1) تَدورُ الأرياشُ في المُسْتَوى العمُوديّ - مِمَّا يجعَلُ عملَها أصعبَ ما لَمْ تكُنْ مُوَجَّهةً ضدَّ الرِّيح. أمَّا في التُّرْبيناتِ الهوائيَّةِ العموديَّةِ المِحْور (6, 5, 4)، التي تَدورُ في المُسْتَوى الأُفُقيّ، فإنَّ بإمكانِها تلقِّي الرِّيحَ بسُهولةٍ أكثرَ بكثير.

أحدُ أنماط التُّرْبين الهوائيِّ العموديِّ المِحْور – هو دَوَّارُ داريو – الذي يُسَمَّى أيضًا خفَّاقةَ البَيض لِشبَهِه بخَفَّاقةِ البَيْضِ العاديَّةِ في المَطابخ.

حَقائقُ ومَعْلومات

التُّرْبينُ الهوائيُّ من نَمطِ خفَّاقةِ البَيض اختُرِعَ في فرَنْسا في الثلاثينيَّات من القَرْنِ العِشْرين على يَد جورج داريو. لكِنَّ داريو لم يُطَوِّرْ تَصْميمَه البارِع؛ فكان أنْ أعادَ مُهَنْدسونَ كَنَديُّون اختراعَ التصميم وطوَّروه كتُرْبينٍ هوائيٍّ عَمَليٍّ لِتوليدِ القُدْرة أواخرَ السِّتينيَّاتِ من القَرْنِ نَفْسِه.



التُّرْبينُ الهوائيُّ الحديثُ العموديُّ المِحْور، كَهذا الدَّوَّارِ المُتَعارِضِ الذِّراعَيْن، لا يُشبِهُ الطاحونةَ الهوائيَّةَ التقليديَّة. فهو بَدَلَ الأشرِعَةِ العريضةِ المُجابِهة لِلرِّيح، مُجَهَّزٌ بِسُطوحٍ أنْسيابيَّةٍ رافعةٍ طويلةٍ رَفيعةٍ جَناحيَّةِ الشَّكْل.

اِستِخْدامُ الأَساسيَّات المُتوافرة محَلِّيًّا

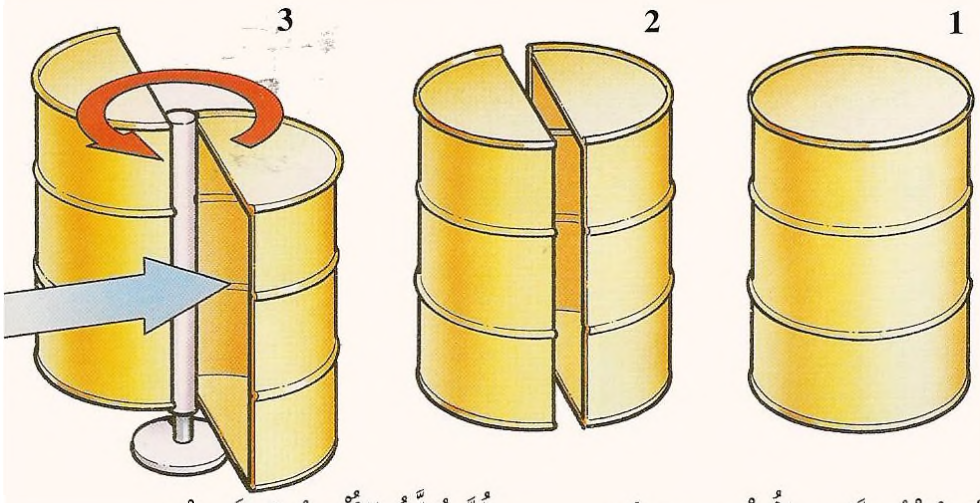
تكاليفُ التُّرْبيناتِ الهوائيَّةِ العاليةِ التِّقانيَّة تفوقُ القُدْرةَ الماليَّةَ لِمُعظم الناسِ في الكثير من أنحاءِ العالَم على تَشْييدِها واستِخْدامِها. لكنْ يُمكِنُ تَسْخيرُ قُدرةِ الرِّياح بتَجْهيزاتٍ بَسيطةٍ خَفيضةِ التِّقانيَّة وموادَّ أساسيَّةٍ مُتوافرةٍ محليًّا. إنَّ إمكانيَّةَ صُنْعِ تُرْبيناتٍ هوائيَّةٍ من موادَّ عاديَّةٍ بسُهولةٍ وبأسعارٍ رخيصةٍ – بالتِّقانيَّات المُناسبة – هي حَيويَّةٌ لجَعْلِ استِخْدامها على نطاقٍ واسعٍ مُمكِنًا في البُلدان النَّامية.

أدناه: لا يزالُ تطويرُ أنماطٍ جديدةٍ من التُّرْبيناتِ الهوائيَّةِ مُستَمِرًّا. هٰذه التركيبةُ الغريبةُ المَنْظر هي تُرْبينٌ هوائيٌّ تَجْريبيٌّ يَجْري اْختبارُه من قِبَل مَصْلحة القُدْرةِ الوطنيَّة – المَسؤولةِ عن شؤون الكهرباء في بريطانيا.

تُرْبينُ دولابِ الدرَّاجة الهوائيُّ في مَرْكز التكنولُوجية البديلة، بالقُرب من ماكينلّت في ويلْز، يُولِّدُ طاقةَ كيلووَاط ساعةٍ واحدٍ من الكهرباء شَهْريًّا – تُستَخْدمُ في شَحْنِ البَطَّاريَّات.

تُرْبيناتٌ هوائيَّةٌ يُمكِنُكَ تَصنيعُها بنَفْسِك

يُمكِنُ صُنْعُ تُرْبينٍ هوائيٍّ باستِخدامِ أساسيَّاتٍ مألوفةٍ كبِرميلِ زيتٍ أو دُولابِ درَّاجة. والمُولِّدُ الكهربائيُّ، الذي يُديرُه تُرْبينُك لا داعي لأن يكونَ ذا تَصْميمٍ خاصٍّ للقيام بالمُهِمَّة. إنَّ كُلَّ سيَّارة مُجهَّزَةٌ بمُنَوِّبٍ (مُولِّدٍ للتيَّار المُتَناوِب) يُديرُه مُحَرِّكُ السيَّارة فيُولِّد الكهرباءَ لِشَحْنِ البطاريَّةِ باستِمرار. هٰذه المُنوِّباتُ مُتَوفِّرة من سيّاراتٍ قديمةٍ ما عادَت تصلحُ لِلسَّير على الطُّرق؛ ومن اليَسيرِ الحصولُ على مُنَوِّبٍ منها.



يُمكِنُ صُنْعُ دوَّارِ سافُونْيوس – أحدِ أنماط التُّرْبيناتِ الهوائيَّة العموديَّة المِحْور – من بِرميل زيت (1). يُقَصُّ البرميلُ إلى نِصْفَيْن (2) ويُلحَمُ النِّصْفانِ مُتَعاكِسَي الاِتِّجاهين على طول أُنْبوبٍ فُولاذيّ. ثُمَّ يُزلَّقُ الأُنْبوبُ فوقَ مِحْورٍ عموديٍّ يَدورُ حوالَيه. ومهما كان اتِّجاهُ الرِّيح، فإنَّها ستَمْلأُ دَومًا النِّصْفَ المَفْتوحَ المُواجِهَ لها من البِرميل وتَدْفعُه دائريًّا (3).

حَقائقُ ومَعْلومات

يُستَخْدمُ مَبْدأُ دوَّار سافُونْيوس في نوعٍ من لَوحات الإعلانِ المُدوِّمة. فبدَلَ كَوْنِها مُسطَّحةً، تُثْنى اللوحَةُ على شَكْل حَرْفِ «S» قائمًا على طَرفِه، كدَوَّار سافُونْيوس. فعندما تدَوِّمُ اللوحَةُ في الهواء، تَظْهرُ الإعلاناتُ على كِلا الجانبَين واحدًا بعدَ الآخَر.

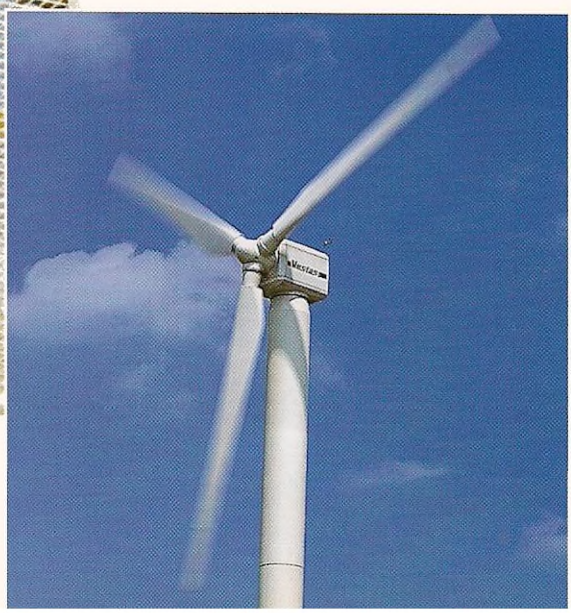
مَدى الأمانِ في التُّرْبيناتِ الهوائيَّة

يَبْحثُ المُهَنْدسون دَومًا عن وسائلَ تجعَلُ التُّرْبيناتِ الهوائيَّةَ أكثرَ أمانًا وأكثرَ فعاليَّةً، حَتّى تَسْتَخْلِصَ قُدْرةً أكثرَ من الرِّياحِ الأخفِّ. طبعًا، بتَزايُدِ سُرعةِ الرِّياح تتزايدُ سُرعةُ التُّرْبين. فالرِّياحُ الشديدةُ قد تجعَلُ التُّرْبينَ يُدَوِّمُ بِسُرعةٍ هائلةٍ بحيثُ تُسَبِّبُ الاِهتزازاتُ والقُوى العاتيَةُ الناتجةُ عنها امتلاخَ الأرياش بكامِلِها من التُّرْبين. فمِن المُهِمِّ ، إذن، تجهيزُ التُّرْبيناتِ الهوائيَّةِ بوسائلِ أمانٍ مُبَيَّتةٍ داخِليًّا تَعْمَلُ أُوتوماتيًّا على مَنْع تجاوُزِها سُرعةً قُصْوى مُحَدَّدة.

كيفَ تَحُدُّ وسائلُ الأمان من سُرعةِ التُّرْبيناتِ الهوائيَّة؟

التُّرْبيناتُ التجاريَّةُ الضخمةُ مُجهَّزةٌ بمَنْظوماتِ تحَكُّمٍ إلكترونيَّةٍ تَقيسُ سُرعةَ الرِّياحِ واتِّجاهاتها. وهي تعمَلُ باستِمْرار على تَضبيطِ زاوية الأرياشِ واتِّجاهِ التُّرْبينِ بكاملِه لِمُلاءَمة الظُّروفِ الرِّياحيَّة. فعندما تتجاوَزُ سُرعَةُ الرِّيح حدًّا مُعيَّنًا، تُنَحَّى الأرياشُ عن مُواجَهةِ الرِّيح فلا تُدَوِّمُ بالسُّرعةِ الأشَدِّ. كما تُزَوَّدُ التُّرْبيناتُ الهوائيَّةُ الضخمةُ أيضًا بِمَكابحَ لِتبْطِئةِ سُرعَتِها الزائدة. وقد تُجهَّزُ التُّرْبيناتُ الأصغَرُ بأثقالٍ تُرْبَطُ بأرياشِها. فعندما تُدَوِّمُ الأرياشُ بِسُرعةٍ أشَدَّ، تعمَلُ القُوَّةُ النابِذة (القُوَّةُ الطارِدة عن المَرْكز) على دَفْعِ الأثقالِ بعيدًا مِمّا يَفْتِلُ الأرياشَ عن مُواجَهة الرِّيح فتَبْطؤ. وتَجْنيبُ الأرياشِ هٰذا يُجَنِّبُها التعَرُّضَ لأخطار الرِّياحِ العاتِية.

هنا يعمَلُ المُهَنْدسونَ على تُرْبينٍ هوائيٍّ اخْتباريٍّ مُركَّزٍ في حَضيض جبال روكي، بكولُورادو. وتشتهِرُ هٰذه المِنْطقةُ بِرياحِها المُتَقَلِّبةِ وعواصِفِها الشَّتَويَّة – مِمّا يجعَلُها مِنْطقةً مثاليَّةً لِاخْتبارِ التُّرْبيناتِ الهوائيَّة.



يجِبُ تَثْبيتُ أرياشِ التُّرْبين الهوائيّ بإحكامٍ في القَبِّ المَرْكزيِّ – ليسَ فقط من أجلِ دَعْمِ ثِقَلِها بَلْ أيضًا لِكَي تَصْمُدَ أمامَ القُوى الشَّديدةِ الناتِجة من حَركتِها التدويميَّة. فعندما تُدَوِّمُ الأرياشُ، تُحاوِلُ القُوى النابِذةُ امتِلاخَها بقُوى الطَّرْدِ المَرْكزيّ.

حَقائقُ ومَعْلومات

التُّرْبينُ الهوائيُّ الضَّخمُ الأوَّلُ في العالَم أقامَه المُهَنْدسُ الأمريكيُّ، پالْمَر پُوتْنام، عام 1941، على قِمَّة جَبلِ غرانْپا نُبّ في ولاية ڤيرمونت، بالولاياتِ المتحدة الأمريكيَّة. وبلغَ طولُ دَوَّارِه الثُّنائيِّ الأَرْياش، من طرَفٍ إلى طرف 53م، وقد ثُبِّتَ في أعلى بُرْجٍ ارتفاعُه 33م. وكانَ يُوَلِّدُ 1,25 ميغاواط من الكهرباء؛ لكِنَّه تعَطَّل عندما امتُلِخَت إحدى ريشَتَيْه الضخمتَيْن في أذار (مارس) عام 1945. وكانت كَثرةٌ من التُّرْبيناتِ الهوائيَّة التي أُقيمَت في حينِه قد لاقَتِ المَصيرَ نَفْسَه. وبدراسة ظُروفِ التعَطُّلِ المُختلِفة ينجَحُ المُهَنْدسون أكثرَ فأكثرَ في مُجابَهةِ تأثير القُوى الناتجةِ المُعَطِّلةِ لِلتُّرْبيناتِ المُدَوِّمة.

تأثيرُ قُدْرةِ الرِّياح في البِيئة

التُّرْبيناتُ الهوائيَّةُ أَلْطفُ بالبِيئةِ من مشاريع القُدْرةِ الأُخرى. فهي، مثلًا، لا تُنتِجُ أيَّ نُفاياتٍ مُؤذية. لكِنْ لِلناس عليها ٱعتراضانِ رئيسيَّان هما – الضجيجُ والمَظْهرُ الخارجيّ.

حَفيفُ الأرياشِ وضَجيجُ الآلات

يَشْكو القاطِنونَ على مَقْرُبةٍ من حُقولِ التُّرْبينات الهوائيَّةِ من صَرير حفيفِ أَرْياشها وصَريفِ ضجيج صَناديقِ تُروسِ السُّرعة والمُولِّداتِ فيها. ونذكُر أنَّ التُّربيناتِ الهوائيَّةَ الحديثةَ أهدأُ بكثيرٍ من المُوديلاتِ الأَقدم، فلا يُمكِنُ سماعُ حفيفِ أرياش التُّرْبينِ الحديث على بُعْدٍ يَفوقُ الـ200 مِتْر. ويَزْعَمُ المُهَنْدِسون أنَّ الضَّجيجَ الميكانيكيَّ من تُروسِه ومُولِّداتِه قد تَلاشى تقريبًا.

تَبْدو الحيواناتُ سعيدةً بِمُشاركتِها المناطقَ الريفيَّةَ مع التُّرْبيناتِ الهوائيَّة. هٰذه الأَغنامُ تَرْعى باطمِئنانٍ تحتَ صَفٍّ من التُّرْبيناتِ الهوائيَّة – غيرَ مُنْزَعجةٍ من تَدْويمِ الأَرْياش فوق رُؤوسِها.

مُشاركةُ المَواقِعِ مع التُّربيناتِ الهوائيَّة

يستَقبِحُ بعضُ الناس مَنْظرَ حُقولِ التُّربيناتِ الهوائيَّة، ويرَونَ أنَّها تُشَوِّه مَناظرَ الرِّيفِ الجَميلة. وفي بعضِ الأماكن، قد تتسَبَّبُ الأَبْراجُ والتُّربيناتُ أيضًا في تَشْويشِ الاستِقبال التلِفزيونيّ. حقيقٌ أنَّ التُّربيناتِ الهوائيَّةَ تَشْغَلُ مناطِقَ شاسِعةً من نَواحي الأرياف، لكِنَّ الأَبْراجَ ذاتَها لا تَشْغَلُ إلّا حَيِّزًا ضئيلًا في مُسْتَوى سَطْحِ الأرض؛ وبالإمكان استِغلالُ الأرضِ بينَ الأَبْراج لأغراضٍ أُخرى - عادةً لِلزِّراعة وتربيةِ الحيوانات. فالمَواشي من بقَرٍ وأغنامٍ تَسْتطيعُ مُشاركةَ التُّربيناتِ تلكَ المواقِع والرَّعْيَ فيها حتَّى قواعدِ الأبراج. وغالبًا ما تبدو هٰذه الحيواناتُ غافلةً عن الأرياشِ المُدَوِّمةِ فوقَها.

حَقائقُ ومَعْلومات

حُقولُ التُّربيناتِ الهوائيَّةِ وما حَوْلَها كانت ولا تزالُ مصدرَ خَطرٍ على الطُّيور. وقد كانَ لِنُفوقِ الأنواع النادِرةِ منها بخاصَّةٍ، كالنُّسور، صدَى قلقٍ بالِغ. والواقِعُ أنَّ نُفوقَ مُعظمِ الطُّيور سببُه اصْطدامُها بخُطوطِ القُدْرةِ العَسيرةِ الرُّؤية، وليسَ التُّربيناتِ الهوائيَّةَ نَفْسَها. فقد أظهرَت دراساتٌ أُجريتْ في هولَنْدا والدَّانِمرك والولايات المتحدة الأمريكيَّة أنَّ أعدادَ الطُّيور التي تَهْلِكُ في حُقولِ التُّربيناتِ الهوائيَّةِ ضئيلةٌ جدًّا بالمُقارنةِ مع الأعدادِ التي تَهلِكُ بحَرَكةِ السَّيْر على الطُّرق.

أقامَتِ الشركةُ الدانمركيَّةُ، ڤِسْتَاس، أكثرَ من 600 تُرْبينٍ هوائيٍّ في الهِنْد. وقد دُرِّبَ السُّكّانُ المَحَلِّيُّون على إقامةِ تلكَ التُّربينات واستِخْدامِها وإصْلاحِها. إنَّ الأَبْراجَ الفُولاذيَّةَ المكشوفةَ التي تحمِلُ التُّربيناتِ هي أسهلُ تَصْنيعًا وإقامةً من الأَبْراج الخَرَسانيَّة.

اِستِخْدامُ قُدْرةِ الرِّياح

تَوليدُ الكهرباءِ من طاقةِ الرِّياح

التُّربينُ الهوائيُّ بذاتِه لا يُؤدِّي شُغْلًا مُفيدًا. إنَّما هو يُدوِّمُ عَفويًّا بِقُدْرةِ الرِّيح. ولِكَي يُنْتِجَ طاقةً كهربائيَّةً، يَنْبغي أنْ يُقْرَنَ بِمُولِّدٍ كهربائيٍّ، يُحَوِّلُ طاقةَ الحَرَكة من الرِّيح إلى طاقةٍ كهربائيَّة. فالجُزْءُ المُدَوِّمُ من المُولِّد، الذي يُديرُه التُّربينُ الهوائيّ، يُحَرِّكُ مِلَفَّاتٍ سِلكيَّةً عَبْرَ مِغْنَطيساتٍ تجعَلُ الكهرباءَ تَسْري في أسلاكه. فالكهرباءُ والمِغْنطيسيَّةُ وَثيقا الترابُطِ جِدًّا - إذْ عندما تَسْري الكهرباءُ عَبْرَ سِلْكٍ، فإنَّها تُحدِثُ حولَه مجالًا مِغْنطيسيًّا. والعَكْسُ أيضًا صَحيح - فعندما يتحَرَّكُ مِغْنطيسٌ بالقُرْبِ من سِلْكٍ (أو يتحَرَّكُ السِّلكُ بالقُرْب من مِغْنطيس)، فإنَّ ذلك يجعَلُ الكهرباءَ تَسْري عَبْرَ السِّلْك.

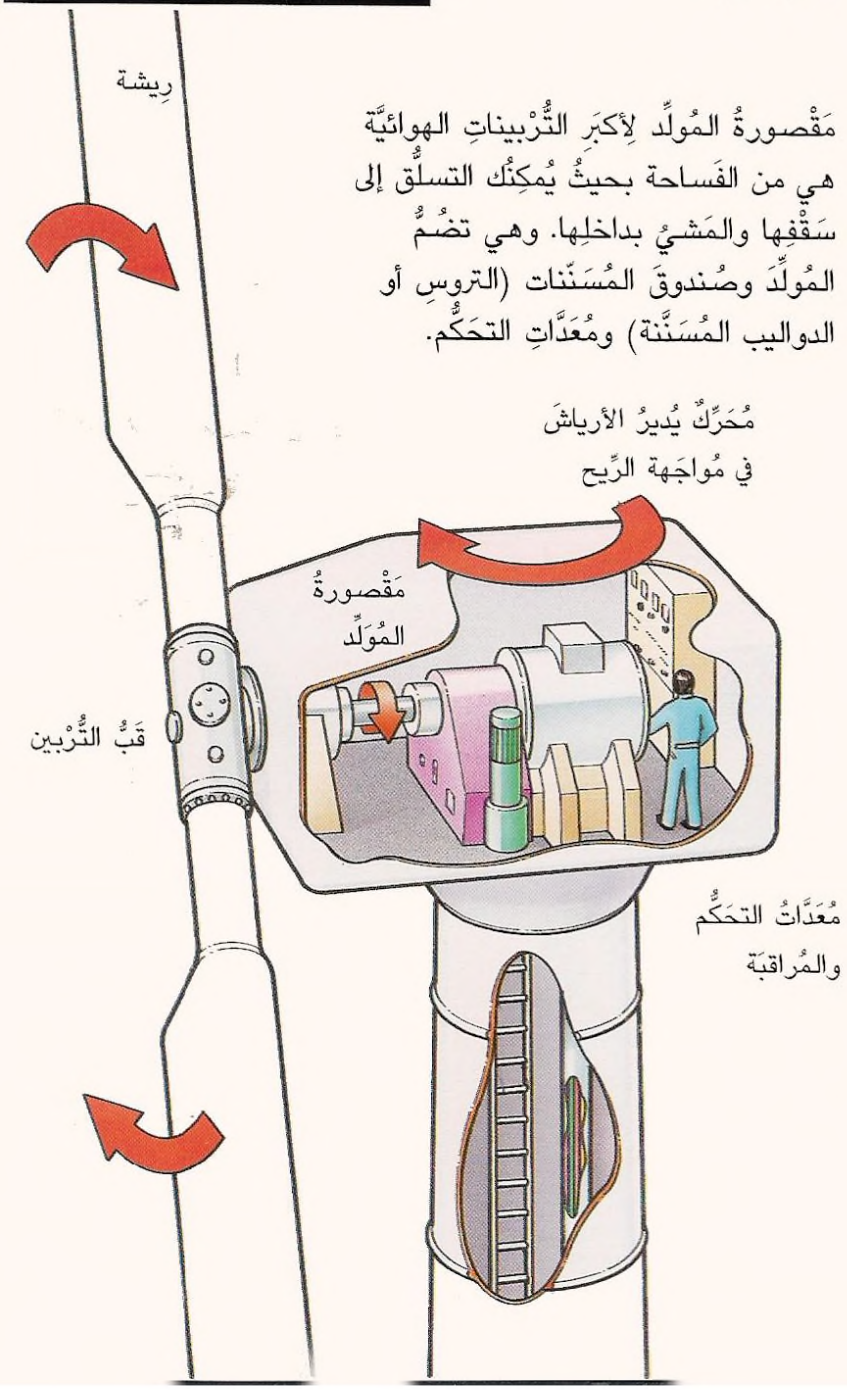
أدناه: مُهَنْدِسٌ في الدَّانِمرك يَفْحصُ جُزْءًا مُهِمًّا من تُرْبينٍ هوائيّ - هو حَلْقةُ المَسامير المُلَولبةِ التي تربِطُ إحدى الأرياشِ بالقَبِّ المَرْكزيِّ الضَّخْم - قَبْلَ مُغادرةِ التُّرْبين إلى الهِنْد، حيثُ سيَجْري تَجْميعُه لِلاستِخْدام.

ضَبْطُ السُّرعة: باستِخْدام صُندوقِ تُروس السُّرعة

إذا كان التُّربينُ الهوائيُّ صغيرًا ويُزوِّدُ مَنْزلًا واحدًا بالكهرباء، فيُمكِنُ في هٰذه الحال وَصْلُه بالمُولِّدِ مُباشرةً. أمَّا في حالِ التُّربيناتِ الأكبر، التي تَستَخْدِمُها شركاتُ الكهرباء، فإنَّ الأرياشَ تدورُ بسُرعةٍ أبطأ من أن تكفي لإدارةِ المُولِّدِ بالسُّرعةِ اللَّازمة. والحَلُّ يتأتَّى بتركيبِ صُندوقٍ لِتُروسِ السُّرعة – وهو آليَّةٌ تتألَّفُ من دواليبَ مُسَنَّنةٍ تعمَلُ بينَ التُّربين والمُولِّدِ لِتَغْييرِ السُّرعة. ومن ثَمَّ فإنَّ عمودَ الإدارة الخارجَ من صُندوق التروسِ يُدَوِّمُ بِسُرعةٍ تفوقُ سُرعةَ التُّربين. وهٰذا العمودُ يُديرُ المُوَلِّد.

حَقائقُ ومَعْلومات

أكبَرُ التُّربيناتِ الهوائيَّة في العالَم هو تُربينُ بُوينْغ طراز – 5 ب (5B) في أُواهُو، بهاواي. يبلغُ قُطْرُ أرياشِ الدوَّار في هٰذا التُّربين 97,5م؛ ويَسْتطيعُ، في ريحٍ تهُبُّ بسُرعةِ 50 كم/ سا، توليدَ حوالى 3,2 ميغاواط من الكهرباء.



فَوق: مِرْفاعٌ يُحَضَّرُ لِرَفْعِ قَمْرَةِ تُربينٍ هوائيٍّ (بيتِ المُولِّد) إلى قِمَّةِ بُرْجها خِلالَ عمليَّات إنشاءِ حَقْلِ تُربينات هوائيَّة في ألمانيا. ويَبْدو في خلفيَّة الصُّورة تُربينٌ هوائيٌّ تَمَّ إنجازُه.

قُدْرَةُ الرِّياح لِمُجْتمعاتٍ مَحلِّيَّة

التُّرْبيناتُ الهوائيَّةُ مُستَخْدَمةٌ في الدَّانِمَرك أكثرَ من أيِّ مكانٍ آخرَ في العالَم – عدا كاليفورنيا، بالولايات المتحدة الأمريكيَّة، وألمانيا. فهنالك 3700 تُرْبينٍ هوائيٍّ في الدَّانِمَرك تُولِّدُ 1000 مليون كيلوواط ساعة من الكهرباء في السَّنة – أي حوالى $\frac{1}{30}$ من كميَّةِ الكهرباء التي يَسْتهلِكُها البَلدُ بكاملِه.

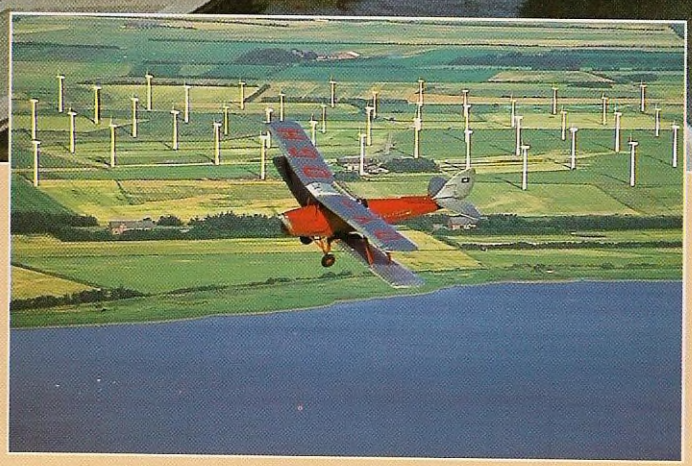
وبخلافِ الوَضْعِ في كاليفورنيا، حيثُ تُركَّزُ التُّرْبيناتُ الهوائيَّةُ بأعدادٍ كبيرة عادةً في حُقولٍ خاصَّة فإنَّ ثلاثةَ أرباع التُّرْبيناتِ الهوائيَّةِ في الدَّانِمرك مُقامةٌ إفراديًّا أو بأعدادٍ قليلةٍ لإمدادِ المُجْتَمعاتِ المَحلِّيَّة. وغالبًا ما يكونُ مُلَّاكُ هٰذه التُّرْبيناتِ أُناسٌ يَعيشون بالقُرْب منها. إنَّ حوالى 50 000 شخصٍ من سُكَّان الدَّانِمَرك الخمسةِ ملايين هُم إمَّا مُلَّاكٌ لِتُرْبيناتٍ هوائيَّةٍ خاصَّةٍ أو إنَّهم مُساهِمون في واحدٍ منها.

تَصْديرُ تِقانيَّاتِ القُدْرة الهوائيَّة

تأتي الدَّانِمَرك أيضًا في طَليعةِ دُولِ العالَم المُصدِّرةِ لِلتُّرْبينات الهوائيَّة. فقُرابةُ نِصْفِ التِّجارة الدَّوليَّةِ في هٰذه التُّرْبينات تُديرُها شركاتٌ دانِمركيَّة، والتُّرْبيناتُ الهوائيَّةُ الدانِمَركيَّة تعمَلُ حاليًا في بُلدانٍ مترامية الأطراف ومُتَباينةِ الأجناس كسويسرا والصين وفلسطين ونيوزيلَنْدا والمكسيك.

خُطوطُ نَقْلِ القُدْرة تنقُلُ الكهرباءَ من مَحطَّةِ قُدرة تعمَلُ بوَقْدِ الفَحْم، في ستَدْسترَپ، بالدَّانِمَرك. حتَّى هنا، حيثُ قُدْرةِ الوُقُودِ الأُحْفوريَّةِ مُتَوفِّرةٌ ومُتاحة، فقد أُقيمَتِ التُّرْبيناتُ الهوائيَّةُ لِتَوليدِ قُدْرةٍ نظيفةٍ لا تُلَوِّثُ البيئة.

تمتدُّ التُّرْبيناتُ الهوائيَّةُ على طولِ الشاطئ المُحاذي لمرفأ بونَرأپ – قريةِ صيْدِ السَّمَك الدَّانِمَركيَّة. السَّواحلُ أماكنُ مُواتيةٌ لِتلَقِّي التُّرْبيناتِ الهوائيَّة الرِّياحَ التي تَهُبُّ عادةً من البَحْر نحوَ الدَّاخِل.



إلى اليَسار: طائرةُ دي هاڤيلاند تايْغَرْ مُث، الثُّنائيَّةُ الأَجْنحة، عيِّنةٌ من تِقاناتِ حِقْبةٍ غابِرةٍ تُتيحُ لِقائدِها رؤيةَ مَنْظرٍ إجماليٍّ لِحَقْل تُرْبيناتٍ هوائيَّةٍ دَانِمَركيّ استُخْدِمَتْ في إقامته أحدثُ التِّقانيَّات.

قُدْرةُ الرِّياحِ في البَيْت

يُمكِنُ إقامةُ تُربينٍ هوائيٍّ صَغيرٍ خارِجَ مَنْزِلٍ عائليٍّ لِتَوليدِ حاجة أفرادِ العائلةِ من الكهرباء لاستِخْداماتهم الخاصَّة. ولعَلَّ التُّربينَ الهوائيَّ، في منطقةٍ نائيةٍ هو الوَسيلةُ الوَحيدةُ لإنتاجِ الكهرباء بتَكْلفةٍ زهيدةٍ دُون مُعَدَّاتٍ غالِية الثمنِ كمُولِّدٍ بنزينيٍّ أو ديزليٍّ أو مُعَدّاتٍ عاليةِ التِّقانيَّات كالمأطوراتِ الشَّمْسيَّة.

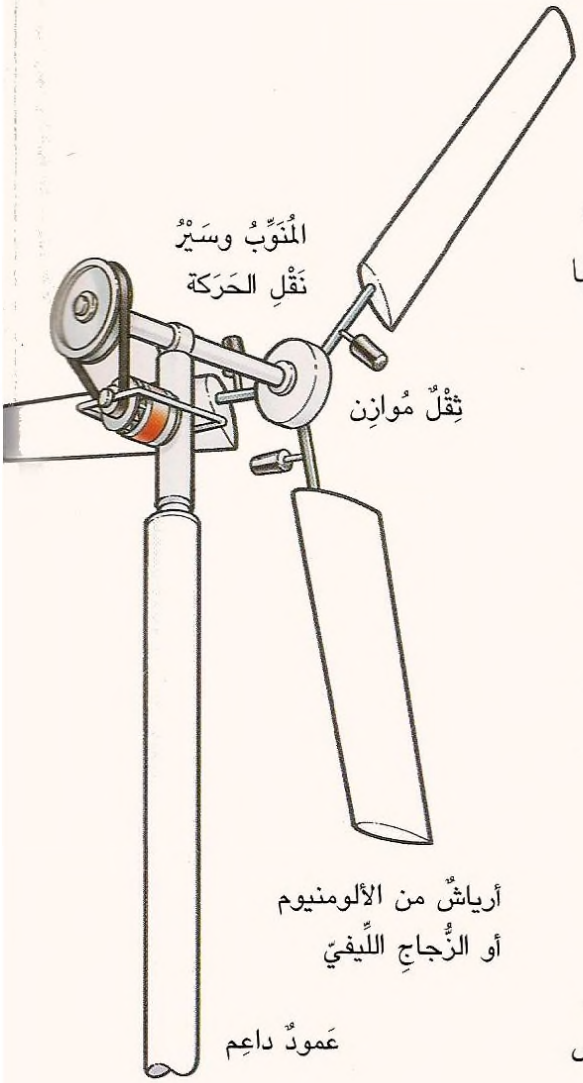
إضاءَةُ الغَرْبِ الأمريكيّ المُوحِش

مُنْذُ مُنْتَصفِ القَرْنِ التاسِعَ عَشَر اعتمدتِ المَزارعُ ومَرابي المَواشي الأمريكيَّةُ غالبًا على الطواحينِ الهوائيَّةِ المُتعَدِّدةِ الأَرْياش، المعروفةِ بِدَواليب الغَرْب، لِرَفع المياهِ من نَهْرٍ أو بُحَيْرةٍ إلى الأراضي الزراعيَّة. ولا تزالُ بِضعَةٌ من هٰذه الطواحين الأصليَّةِ القديمة في حالٍ صالِحةٍ لِلعمل. وخِلالَ العِشْرينيَّاتِ والثلاثينيَّاتِ من القَرْنِ العِشْرين، كانتِ المزارعُ والمنازِلُ، في المناطقِ النائية من الولايات المتحدةِ الأمريكيَّة، غيرِ المُزَوَّدةِ بشبكةِ كهرباءَ عامَّةٍ، تَستَخْدِمُ مُوَلِّداتٍ هوائيَّةً تتراوحُ قُدْرَتُها بين 200 وَ 3000 واط، لِلإنارة ورُبَّما لتَشْغيلِ جهاز راديو.

قُدْرةُ الرِّياح للمَنازِل اليوم

التُّربينُ الهوائيُّ النَّمُوذَجيُّ الحديثُ مُجَهَّزٌ بأرياشٍ من الأَلومنيوم أو الزُّجاجِ اللِّيفيِّ ومُقامٌ على قِمَّةِ بُرْجٍ أُنْبوبيٍّ فولاذيّ. دَورانُ أرياشِ التُّربين يُديرُ مُوَلِّدًا – رُبَّما تَمَّ الحُصولُ عليه من سيَّارةٍ قديمة. إنَّ باستطاعةِ تُربينٍ من هٰذا النوع تَوليدَ 750 واطًّا من القُدْرةِ الكهربائيَّة – وهي كافيةٌ لِمَصابيحِ الإضاءَة أو لِتشغيلِ الأجهزة الكهربائيَّة الصغيرة.

التُّربيناتُ الهوائيَّةُ الصغيرةُ التي يكفي واحدُها لِتَزْويدِ مَنْزِلٍ بالقُدْرة يُمكِنُ شِراؤُها مُصَنْدقةً في عُلَبِها أو بِناؤها من أشياءَ بسيطةٍ من قِبَلِ هُواةِ تَصْنيع الأشياءِ بأنفُسِهم. والكَهْرباءُ المُوَلَّدةُ بِمِثْلِ هٰذا النموذجِ تُنْقَلُ سَفْلًا إلى مُسْتَوى سَطْحِ الأرض عَبْرَ كُبُولٍ داخِلَ عمودِ دَعْمِ التُّربين.



حَقائقُ ومَعْلومات

المُخَطَّطاتُ لإقامةِ أوَّلِ قَريةٍ بيئيَّةٍ دانِمَركيَّة وُضِعَت عامَ 1981. وفي عام 1988، تَمَّ شِراءُ أرضٍ للمشروعِ مِساحَتُها 13 هكتارًا في مِنْطقة تُورَب الدانمركيَّة. وقد شُيِّدتِ المَنازلُ الـ14 الأُولى في العام 1991؛ وزُوِّدَت بالقُدْرةِ الكهربائيَّة بواسطةِ مأطوراتٍ شمسيَّةٍ وتُربينٍ هوائيٍّ قُدْرتُه 450 كيلوواط.

فَوق: القُرى البِيئيَّةُ، كقَرْيةِ تُورَب في الدانِمَرك المُبيَّنةِ هنا، تَستَخْدِمُ بُيوتًا عاليةَ الكِفايةِ الطاقيَّةِ لِخَفْض اٰحتياجات القَرْيَةِ لِلكهرباء. إنَّ كميَّةَ الكهرباءِ القليلةَ، التي تَحتاجُها هٰذه القُرى، تُوَلَّدُ بوسائلَ لا تُضِرُّ بالبِيئةِ تَشْمَلُ القُدْرةَ الشمسيَّةَ وقُدْرةَ الرِّياح.

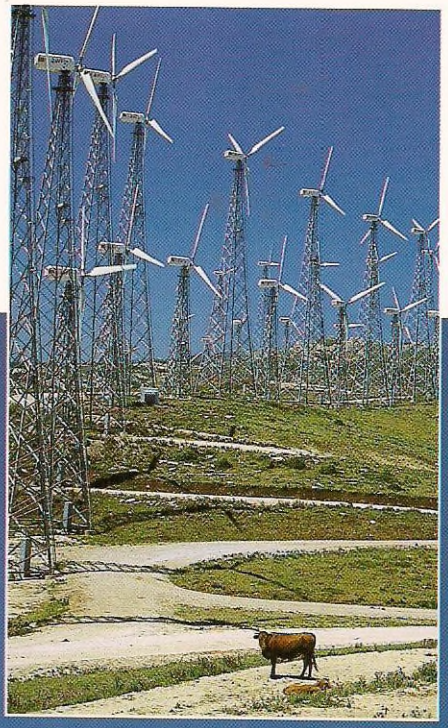
إلى اليَسار: تُربينٌ هوائيٌّ يَرْفَعُ المياهَ للناسِ والحيوانات في قَرْيةٍ إفريقيَّة. حتَّى في هٰذه الأَصْقاعِ المُقْفِرةِ والجافَّةِ ظاهِريًّا، قد تكونُ المياهُ الجَوفيَّةُ قريبةً جِدًّا من سَطْحِ الأرض. وَبِتَسْخيرِ قُدْرةٍ ضئيلةٍ من الرِّياح يُمكِنُ تَغْييرُ الحياةِ إلى الأفضَلِ في قَرْيةٍ نائيةٍ كهٰذه.

حُقولُ التُّربينات الهوائيَّة

تُقامُ التُّرْبيناتُ الهوائيَّةُ المُستَخْدمةُ لِتَزْويدِ الصِّناعاتِ الكهربائيَّة بالطاقة في مَجْموعاتٍ تُدعى حُقولَ التُّرْبينات الهوائيَّة. وهي ضَخْمةٌ جدًّا بالمُقارنةِ مع التُّرْبيناتِ المُستَخْدمةِ في مَنازِل الأفراد. فقد يبلُغُ قُطْرُ أرياشِ الدوَّار فيها من 20 إلى 30 مترًا – وبعضُها أكبَرُ من ذلك بكثير. وهي تُقامُ على أبراجٍ يَبْلُغُ ارتفاعُها حتَّى 50 مترًا.

ويُوَلِّدُ الواحدُ من هٰذه التُّرْبيناتِ حوالى 500 كيلوواط من الكهرباء (الكيلوواط الواحد يُشَغِّلُ مِدفأةً كهربائيَّةً من قضيبٍ واحد)، لكِنْ عندما تعْمَلُ مئاتُ أو آلافُ التُّرْبيناتِ الهوائيَّة معًا، فإنَّها تُوَلِّدُ مئاتِ الميغاواطات (مئات مَلايين الواطات) من الكَهْرباء – أي ما يكفي لِتَزْويدِ مَدينةٍ بكامِلِها بالقُدْرة. لكِنْ لا يغيبُ عن الذِّهن أنَّ حقولَ التُّرْبيناتِ الهوائيَّة تَتطلَّبُ مِساحاتٍ شاسِعةً من الأرض.

أحيانًا تُستَخْدَمُ الأبراجُ المُشَبَّكةُ المكشوفةُ بدَلَ الأبراجِ الخَرسانيَّة، كما في حَقْل التُّرْبيناتِ الهوائيَّة هٰذا في طريفا، بجَنوبي إسبانيا. فالبِنَى الفُولاذيَّةُ المكشوفةُ أقَلُّ تكلِفةً من الخَرسانيَّة؛ وكَونُ هٰذه الأبراج لا تَحْجُبُ الرُّؤيةَ عَبْرَها، فهي تَنْدَمِجُ في أجواءِ المناطقِ الريفيَّة بشَكْلٍ أفْضل.



المُباعَدةُ بينَ التُّرْبينات - ما مَداها المُناسِب؟

إقامةُ التُّرْبيناتِ مُتَلازَّةً في حَقْل التُّرْبينات الهوائيَّة يَجْعَلُ واحدَها يحجُبُ الرِّيحَ عن سِواه - تمامًا كما يحجُبُ المُتشمِّسُ بظِلِّه شَعَّ الشَّمْسِ عن مُتَشمِّسٍ آخر. لِذا يَنْبغي احتِسابُ مَدى المُباعدةِ بين التُّربيناتِ الهوائيَّة بعنايةٍ فائقةٍ تُراعي المَدى الأقلَّ وإنتاجَ القُدْرةِ الأكثر. ويُقَدِّرُ الخُبراءُ مَدى هٰذه المُباعَدة بِحوالى خمسةِ إلى سَبْعةِ أضعافِ قُطْرِ الدوَّار فيها.

حقلُ التُّرْبينات الهوائيَّة هٰذا في بُورنْهولْم، بالدَّانِمَرك، مُقامٌ على سَفْحِ تَلٍّ قليلِ الإنْحِدار. وتُشكِّلُ التِّلالُ عادةً مواقِعَ صالحةً لِحُقولِ التُّرْبيناتِ الهوائيَّة نَتيجةً لِلطريقةِ التي تكتَسِحُ فيها الرِّياحُ السَّائدةُ المُنْحَدَرَ صُعُدًا من جانبٍ واحدٍ.

حَقائق ومَعْلومات

رُغْمَ أنَّ قُدْرةَ الرِّياح هي شَكْلٌ نَظيفٌ من الطاقة، فإنَّ إقامةَ حقلِ تُربيناتٍ هوائيَّة قد يعودُ بأثَرٍ بالِغٍ في البيئة. فأساساتُ الأبراج يَنْبغي أنْ تُعَمَّقَ حتَّى 50 مترًا. وقد يتطلَّبُ ذلك مُعالجةَ التُّرْبةِ الصَّخْريَّة بالديناميت. وغالبًا ما تُشَوِّشُ هٰذه الحُفَرُ الضَّخْمةُ بيئةَ المَوقِع، بحيثُ تختلِفُ النَّباتاتُ الناميةُ لاحِقًا عن تلك التي كانت سابِقًا. كذلك، قد تَعْترِضُ المَسالِكُ التي شُقَّتْ لِلوُصولِ إلى الموقِع، المواطِنَ البيئيَّةَ السَّريعةَ العَطَب. ففي يُوركْشاير، بإنكلترا، هُدِّدت بالزَّوال المواطنُ البيئيَّةُ المَنْقَعيَّةُ التي تعيشُ فيها أنواعٌ نادرةٌ من الكائناتِ بهٰذه السُّبُل.

تَنْتِصبُ صُفوفٌ من التُّرْبيناتِ الهوائيَّة في حَقْل تِهاتْشَپي مُوهاڤي للتُّرْبينات الهوائيَّةِ في كاليفورنيا، بالولاياتِ المتحدة الأمريكيَّة. ورُغْمَ أنَّ حَقْلَ مَعْبَر ألتَمونْت يضُمُّ تُرْبيناتٍ هوائيَّةً أكثَر، فإنَّ حقلَ تِهاتْشَپي مُوهاڤي يُنتِجُ كهرباءَ أكثر. ويُلاحَظُ أنَّ مَبْيَتَ المُوَلِّدِ لأحدِ التُّربينات في أماميَّةِ الصورة مَفْتوحٌ للتَّصْليح.

مَعْبَرُ ألتَمونْت في كاليفورنيا، بالولايات المتحدة الأمريكيَّة

مَعْبَرُ ألتَمونْت في كاليفورنيا، بالولايات المتحدة الأمريكيَّة، الواقعُ على بُعْدِ ساعةٍ بالسيَّارة شرقي سان فَرانسِيسكو، يَضُمُّ أضخمَ حَشدٍ لِلتُّرْبيناتِ الهوائيَّةِ في العالَم. فالسِّتَّةُ آلافِ تُرْبين فيه تُنتِجُ قُرابَةَ نِصْفِ مُجْمَلِ الكهرباءِ المُوَلَّدةِ من قُدْرةِ الرِّياح في كاليفورنيا. وهي معًا تُنْتِجُ حوالى 1000 مليون كيلوواط ساعة من الكهرباء في السَّنة. والمعروف أنَّ الممَرَّاتِ الجَبليَّةَ مواقِعُ جَيِّدةٌ لِحقول التُّرْبينات الهوائيَّة بسبَبِ انسِيابِ الرِّياح عَبْرَها كما عَبْرَ قِمَعٍ لِتُدحَس بين الجِبالِ، مِمّا يَزيدُ من سُرعتِها ويُعزِّزُ شِدَّتَها. ويتميَّزُ مَعْبَرُ ألتَمونْت بشكلٍ خاصٍّ لأنَّه يقَعُ في التِّلال بين مِنْطقةِ خليج سان فرانسِيسكو والمُحيطِ الهادي من جهة وبين وادي سان جواكوِن الحارِّ من الجِهة الأُخرى. فالهواءُ الصاعِدُ، هناك، من الوادي الحارّ يَستَفِطُ الهواءَ الأبردَ من البَحْر عَبْرَ الممَرِّ مُحدِثًا الرِّياح. فتتَلَقَّى التُّرْبيناتُ الهوائيَّةُ المُعتَرضةُ تلك الرِّياح وتحوِّلُ طاقتها الحركيَّةَ إلى كهرباء.

أنماطٌ مُختلِفةٌ من التُّرْبينات الهوائيَّة يجري تَحْسينُها واَخْتبارُها باستِمْرار. ففي مَرفِقِ الاِخْتبار الأمريكيّ هٰذا يَنْتَصِبُ تُرْبينان من نَمطِ «خفَّاقة البَيض» – داريُو العَموديِّ المِحْور بالقُرْب من دَوَّارٍ ضَخْمٍ ثُلاثيِّ الأرياش أُفُقيّ المِحْور.

إنَّ ما يَفوقُ نِصْفَ عدد التُّرْبيناتِ الهوائيَّة في مَعْبَر ألتَمونْت هي من نَمطٍ يُعرَفُ بدَوَّارات سُفالةِ الرِّيح، أي التي تُجاري اَتِّجاه الرِّيح وتقَعُ أرياشُها خلفَ البُرْج. والمَعروفُ أنَّ دُوَّاراتِ مُعظمِ التُّرْبينات الهوائيَّة هي من نَمطِ قُبالَةِ الرِّيح، أي تَحْمِلُ أرياشَ دَوَّارِها أمامَ البُرْج في مُجابَهةِ الرِّيح.

التُّرْبيناتُ الهوائيَّةُ شَبيهةٌ إلى حَدٍّ بالجبالِ الجليديَّةِ مِن حيثُ أنَّ بعضَ بِنْيتها مَحْجُوبٌ تحتَ السَّطْح. فمع وَزْنِ المُوَلِّدِ الثَّقيلِ الذي يَنْبغي أنْ يكونَ دَومًا عاليًا ومُستقِرًّا فوقَ سَطْحِ الأرض، يَنْبغي أنْ يكونَ البُرْجُ كذلك راسِخًا ومُتَجذِّرًا بثباتٍ في أساسٍ مُصْمَتٍ عميق.

تُرْبينٌ هوائيٌّ تَقْليديٌّ يَضُخُّ الماءَ في مِنْطقةِ لَاسِيتي بجَزيرة كريت اليونانيَّة. وإذا ما تبَدَّلَ اتِّجاهُ الرِّيح، فإنَّ ضَغْطَها، الذي يَدْفَعُ الرِّيشةَ المُثلَّثيَّةَ، يُديرُ الأشرعةَ القُماشيَّةَ حتَّى تَغْدو مُجَدَّدًا مُوَجَّهةً ضِدَّ الرِّيحِ مُباشَرةً.

الحاجةُ إلى ضخِّ المِياه

مُعْظمُ التُّربيناتِ الهوائيَّة في العالَم تُستَخْدمُ في ضَخِّ المِياه لِرَيِّ الأَراضي الزراعيَّة. ففي الكثير من أنحاءِ العالَم، يكونُ الطَّقْسُ إمَّا جافًّا جدًّا على مَدارِ السَّنة بحيثُ يَستحيلُ إنباتُ الزُّروع، أو هنالك فَصْلٌ ماطِرٌ لِبِضْعةِ شُهور، وباقي السَّنةِ جافٌّ تمامًا. فخِلالَ الفَصْلِ الرَّطْبِ يتِمُّ إنباتُ زُروعٍ قَيِّمة، لكِنَّ المياهَ لا تتوَفَّرُ لإنباتِ مثلِ تلك الزُّروعِ مُعظمَ أيامِ السنة. ففي فَصلِ الجَفافِ يُمكِنُ فقَط إنباتُ بعضِ العُشْبِ علَفًا لِلحيوانات. وقد يكونُ هنالك أحيانًا مَدَدٌ وافِرٌ من المياه تحتَ سَطْحِ الأرض يُمكِنُ استِخْدامُه في رَيِّ زُروعٍ عاليةِ القيمة على مَدارِ السَّنة لو يتمَكَّنُ المُزارعونَ من الحُصول عليه.

حَقائقُ ومَعْلومات

إنَّ فعاليَّةَ المِضَخَّاتِ العامِلة بِقُدْرة الرِّياحِ لِرَفْعِ الماءِ من باطنِ الأرض تعتمِدُ على مُسْتَوى المياهِ الجَوفيَّة. وهو المُسْتَوى الأعلى لِلمياه المُتجَمِّعة في الصُّخورِ المَساميَّةِ تحتَ سَطْحِ الأرض. ومعَ انْخفاضِ مُسْتَوى المياهِ الجَوفيَّة يَتوجَّبُ أنْ تعمَلَ المِضخَّاتُ بِجُهدٍ أشَدّ. وهي تَسْتطيعُ ذلك فقَط إذا أدارتِ الرِّيحُ أرياشَ الدوَّار بسُرعاتٍ أشدَّ. والمَعروفُ أنَّ مُسْتَوى المياه الجَوفيَّةِ يرتفِعُ عندَ هُطولِ المطَر ويَنْخَفِضُ خلالَ فَتراتِ الجَفاف - وأيضًا نتيجةً لِضَخِّ المياه من باطنِ الأرض لِلرَّي.

المِضَخَّاتُ العاملةُ بقُدْرةِ الرِّياح

تَسْتطيعُ التُّربيناتُ الهوائيَّةُ إدارةَ المِضَخَّات لِرَفْعِ المياه من باطنِ الأرض وإيصالِها إلى حيثُ يُحتاجُ إليها. والواقِعُ أنَّ رَفْعَ المياه من باطنِ الأرض إلى سَطْحِها كانَ جاريًا قَبْلَ أنْ تُصْبِحَ التُّربيناتُ الهوائيَّةُ مُتاحةً بوَقْتٍ طويل. فقد استخدمَ الناسُ لِذلك المِضَخَّاتِ العاملةَ بالكيروسين - وهو وَقُودٌ رَخيص. إنّ أمثالَ تلك المِضَخَّاتِ زهيدةُ الثمن ورخيصةُ التشغيل، لكِنَّها قليلةُ الكِفايةِ ولا تَدومُ طويلًا. نعم إنَّ تركيبَ التُّربيناتِ الهوائيَّةِ أكثَرُ تَكْلِفةً، لكِنَّها ما إنْ تُقامَ، حتَّى تُصبِحَ أكثرَ مُعْتمديَّةً، كما إنَّ تَشْغيلَها أقلُّ تَكْلِفةً لأنَّها لا تَسْتَهلكُ أيَّ وَقُود.

هٰذا التُّربينُ المِروحيُّ الشَّكْل المُتعَدِّدُ الأرياش نَموذَجٌ لِنَمطِ التُّربينات الهوائيَّة المسمَّاةِ «الدواليبَ الغربيَّة» التي استُخْدِمَتْ لِضَخِّ المياه في مَرابي الحيوانات والمَزارِع الأمريكيَّة أواخرَ القَرْن التاسِعَ عَشَر. وهٰذه «الدواليبُ الغربيَّةُ» لا تَزالُ قيدَ الاستِعمالِ في مُختلفِ أرجاءِ العالَم.

سُفُنٌ حَديثةٌ تعمَلُ بقُدْرةِ الرِّياح

بعدَ آلافِ السِّنين من استِخْدامِ السُّفُنِ الشِّراعيَّةِ الأُولى، لا تَزالُ الرِّياحُ تُستَخْدمُ في دَسْرِ المَراكبِ والسُّفُن. حاليًّا تُستَخْدمُ قُدْرةُ الرِّياح غالبًا في تَسْييرِ قوارب الرياضةِ ومَراكب المُتعةِ والاستِجْمام. لكنْ هنالك أيضًا بعضُ الاِهتِمام باستِخْدامِ قُدْرةِ الرِّياح في حَرَكة النَّقْلِ البَحْريِّ التِّجاريّ. فاليُخوتُ والزوارقُ الشِّراعيَّةُ والزلَّاجاتُ الشراعيَّةُ الرمليَّةُ والمَوجيَّةُ والجليديَّةُ كُلُّها مراكبُ تعمَلُ بقُدْرةِ الرِّياح.

كذلك فإنَّ بِضْعةً من سُفُنِ الرُّكَّاب وناقلاتِ النِّفْط والسُّفُنِ التجاريَّةِ الكبيرةِ الأُخرى قد جُهِّزت بالأشرعةِ أيضًا. وهي تستَخْدِمُ أشرعتَها عندما تكونُ قُوَّةُ الرِّياحِ كافِيَةً، وتتحَوَّلُ إلى قُدْرةِ مُحَرِّكاتِها عندما تَتَضاءَلُ هٰذه القُوَّة.

إنَّ استِخْدامَ قُدْرةِ الأشرِعة مع قُدْرةِ المُحَرِّكاتِ كمَصْدرِ قُدْرةٍ مُساندٍ يُخفِّضُ التكاليفَ ويُقلِّلُ التلَوُّثَ بتَخْفيضِ كميَّةِ الوَقُود المؤكسَد؛ كما إنَّه يختصِرُ أيضًا زمنَ الرِّحلات. إنَّ سفينةً تعمَلُ بالغاز مُزوَّدةً بشِراعَيْن بطُول 60 مترًا استطاعَت اختْصارَ خَمسةِ أيَّامٍ من زَمن رِحْلَتها المُتوَقَّعِ من لويزيانا إلى بَحْر الشَّمال، عَبْرَ المُحيطِ الأَطْلسي.

سفينةُ الشَّحْن، ترُوپيكَل مارِينا، تَرْفَعُ أشرِعتَها استِعْدادًا لإيقافِ مُحَرِّكاتها. إنَّ هٰذا الإبحارَ المَجّانيَّ حتَّى تَتضاءَلَ قُوَّةُ الرِّياح، يُوفِّرُ من الوَقودِ المُستَهْلَك (الغالي الثمن) ويُساعِدُ في جَعْلِ البِيئةِ أَنْظفَ.

يَخْتُ تزلُّقٍ جَليديّ ينسابُ بِسُرعةٍ، عَبْرَ سُطوحٍ مُتجمِّدةٍ مليسَةٍ كالزُّجاج، فوق ثلاثِ شَفَراتٍ فولاذيَّةٍ لا صَدَئيَّةٍ حادَّةٍ تعمَلُ كَزلّاجات. قائدُ اليَخْت مُستَلْقٍ داخِلَ هيكل اليَخْتِ الإنْسيابيِّ المَشيق يُوجِّهُه بتَدْويرِ الزلَّاجةِ الأماميَّة.

اِتِّجاه الإنْطلاق

حَقائقُ ومَعْلومات

السُّرعةُ القُصوى بدَفْع الأشرعة بلغَتْ 230 كم/ سا، وحَقَّقها يختُ تزلُّقٍ جليديّ عام 1938. والمعروفُ أنَّ اليُخوتَ وألواحَ رُكوب الأمواج الشراعيَّة أبطأُ بكثيرٍ بفِعْل مُقاوَمةِ المياه التي تَسِفُّ اليُخوتُ والألواحُ عَبْرَها. أسرعُ مَركبةٍ شراعيَّةٍ فوق الماء سَجَّلت رَقمَ سُرعةٍ قياسيًّا عام 1993 وبلغَ 86,21 كم/ سا. أمّا أقصى سُرعةٍ لِلَوْحِ سَفٍّ مَوجيٍّ شِراعيٍّ فبلغَتْ 84,02 كم/ سا، عام 1993 أيضًا.

يَخْتا سَفٍّ برِّيٍّ شِراعيَّان يتنافسانِ بصَمْتٍ لإحراز السَّبْقِ عَبْرَ شاطئ ويلْز المُضِبِّ. ويَبْدو القائدانِ مُستَلْقِيَيْن ظَهرًا في مَقصورتَي القيادة لِخَفْضِ مُقاوَمةِ الهواء إلى الحَدِّ الأدْنى.

سَفينةٌ فاخِرةٌ تَسيرُ بِقُدْرةِ الرِّياح

السفينةُ كْلَب مِدْ (1) واحدةٌ من أكبرِ السُّفُنِ الشراعيَّة في العالَم - إذ يبلغُ مُجملُ طولِها (من الحَيزوم «المقدَّمة» إلى الكَوثَل «المؤخّرة») 187 مترًا، وتَزِنُ حوالى 14000 طُنّ. وهيَ ليسَت من مُخَلَّفاتِ حِقْبةٍ ذَهبيَّةٍ كانتِ السُّفُنُ الشراعيَّةُ فيها سَيِّدَةَ المُحيطات؛ بل هي سَفينةُ تَرَفٍ فاخِرةٌ حديثةٌ لِلرُّكّابِ صُمِّمَت وبُنِيَت بدءًا من لا شيء لاستِخْدامِ قُدْرةِ الرِّياح. وقد أُنزِلَت إلى البَحْر في فرَنْسا وقامت برِحْلتِها البِكْر عامَ 1990.

الإبحارُ الشِّراعيُّ المُحَوسَب

باستطاعةِ كْلَب مِدْ (1) نَشْرَ سَبعةِ أشرعةٍ على خمسةِ صوارٍ تُغَطِّي بِمُجْمَلِها ما مِساحتُه 2700 متر مُرَبَّع. والصَّواري، التي ترتفِعُ إلى عُلُوِّ 50 مترًا، مَصْنوعةٌ من الأَلُومنيوم - أحدِ أخفِّ الفلِزّات - لِتَخْفيفِ الوَزْن؛ ويُكسِبُها شكلُها الأُنبوبيُّ المُجوَّف قُوَّةً ومَتانةً لِمُقاومةِ قُوى الثَّني الناتجةِ من ضَغْطِ الرِّياح على الأشرعة. وتُراقِبُ هٰذه الأشرعةَ وتَضْبطُها باستِمْرار حواسيبُ لِضمان الحُصولِ منها على الأداءِ الأفضَل. ورُغْمَ الوَزْنِ الهائلِ لِلصواري والأشرعة الضَّخْمةِ وأجهزةِ التحَكُّم في كْلَب مِدْ (1) فإنَّ غاطِسَ هَيكلها يَقِلُّ عن خمسةِ أمتار - ممّا يُمكِّنُها من دُخولِ كثيرٍ من المَرافِئ الصغيرة التي لا تَسْتَطيعُ سفُنُ الرُّكّاب الأكبَرُ دخولَها.

إلى اليَمين: الرُّكّابُ على ظَهْر كْلَب مِدْ (1) يستَمْتعون بالمنظر الرائعِ لِلأشرعةِ الشاهِقة في عُلْوةِ السفينة فوقَ سَطْحِها الرئيسيّ.

تَحت: مَنظرُ السفينة كْلَب مِدْ (1) من عَلُ، وقَد أُنزلَت أشرِعتُها فبدَت صواريها وعَواتِقُها كصَفيفٍ من عِيدانِ الثِّقاب. سفينةُ التَّرَفِ هٰذه تتَّسِعُ لِـ 425 راكبًا في مَقْصوراتها المُوزَّعةِ على ثمانيةِ سُطوح. وفي إعادةِ تأهيلِها التالي ستكونُ مقاصيرُها وأجنِحتُها أفسَحَ، وستَحْملُ أسمًا جديدًا هو وِنْد سِرْف.

تَشُقُّ الدَّلافينُ سطحَ الماءِ ضِمْنَ مَدى النَّظرِ من السفينة الشراعيَّةِ وِنْد سُونْغ المُجهَّزةِ أيضًا بالمُحَرِّكاتِ. السفينتانِ وِنْد سُونْغ وكْلَب مِدْ (1) اثنتان من أُسْطولِ سُفنٍ شِراعيَّةٍ حديثةٍ بُنِيَت خِصِّيصًا لِلرُّكَّاب. وهي تَجوبُ البِحارَ بصورةٍ رئيسيَّةٍ حولَ الجُزُرِ والأماكنِ المُفَضَّلة لِقضاءِ العُطلات التي يَقْصدُها السُّيَّاحُ والمُتنزِّهونَ في البَحْرِ الأبيض المُتوَسِّط والبَحْرِ الكَريبيّ.

حَقائقُ ومَعْلومات

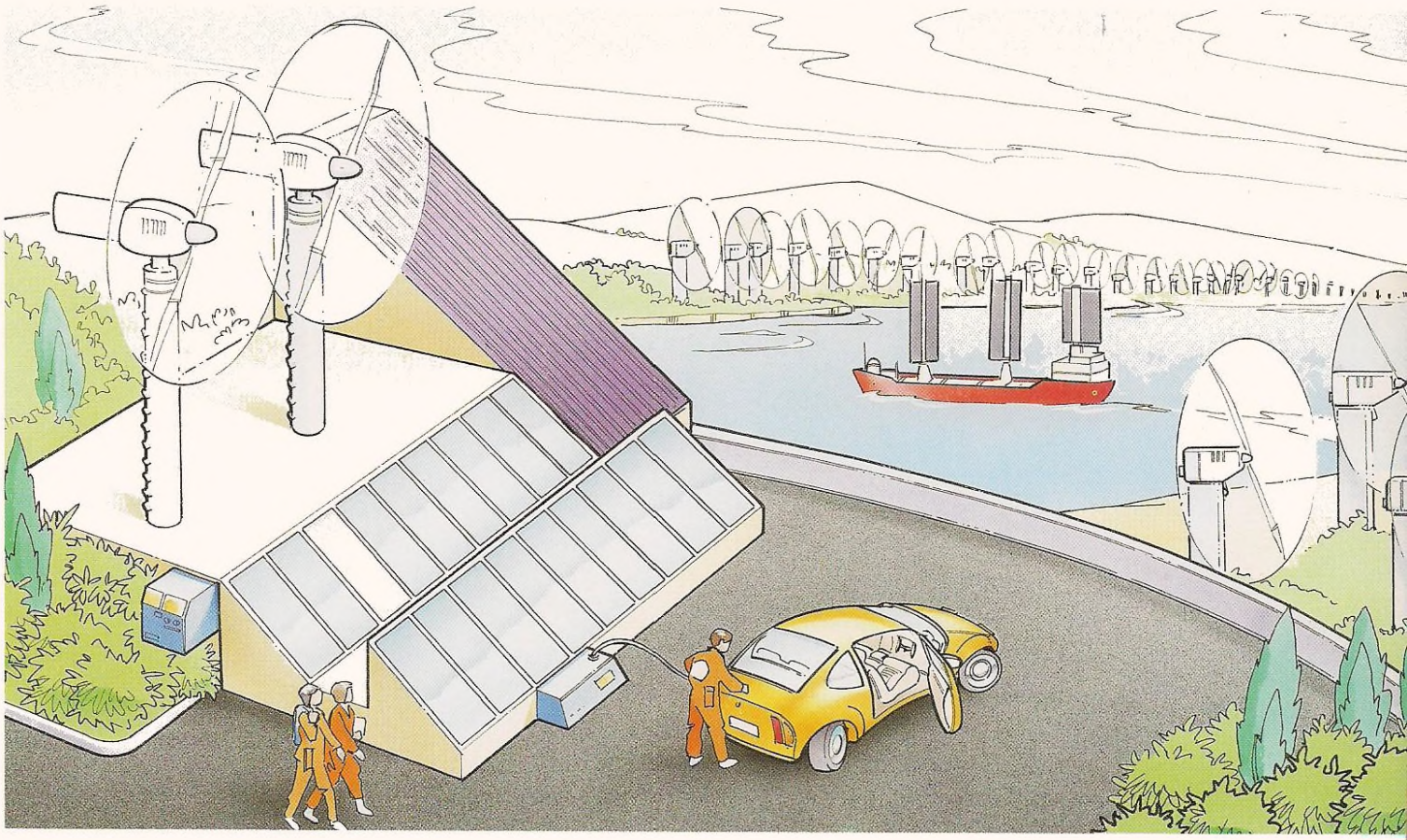
كانت السفُنُ الشراعيَّةُ تَعتمِدُ على فِرَقٍ من البَحَّارةِ لِتَسلُّقِ الصَّواري ونَشْرِ الأشرعةِ عليها. أو لِمَدِّ أشرعةٍ إضافيَّةٍ فوقَها. أمَّا السُّفُنُ الشراعيَّةُ الحديثةُ، مثل وِنْد سُونْغ وكْلَب مِدْ(1)، فإنَّها تَستَخْدِمُ لذلك مَرافِعَ آليَّةً (بمُحَرِّكاتٍ كهربائيَّةٍ) حاسوبيَّةَ التحَكُّم لإعمالِ أشرعتِها.

المُسْتَقبَل

قُدْرَةُ الرِّياحِ مُستَقْبلًا

إنَّ ٱزْدِيادَ الطَّلَبِ على قُدْرةِ الرِّياح سيسْتَمِرُّ في المُسْتَقبَل مع تَزايُدِ ٱهْتِمامِ الناس المُطَّردِ بالبيئةِ وقضايا التلَوُّث. فكَندا، مثلًا، تُخَطِّطُ لِتَوليدِ حوالى خُمسِ طاقتِها الكهربائيَّة من قُدْرةِ الرِّياح. سالِفًا، كانت التكلفَةُ الأعلى أحدَ أهمِّ العوائق لاستِخْدامِ قُدْرةِ الرِّياح. أمَّا الآنَ، فإنَّ الكهرباءَ المُوَلَّدةَ بالأنواع الفُضْلى من التُّربيناتِ الهوائيَّة تُساوي في تكلِفَتِها الرَّخيصةِ الكهرباءَ المُوَلَّدةَ في مَحطَّةِ قدرةٍ تعمَلُ بوَقْدِ الفَحْم. ويرتَئي الباحثونَ أنَّ تكاليفَ القُدْرةِ من الرِّياح يُمكِنُ تَخْفيضُها إلى النِّصْفِ باستِخْدامِ موادَّ مُؤلَّفةٍ خفيفةِ الوَزْن، ومَنْظوماتِ تحَكُّمٍ حاسوبيَّةٍ أفضَلَ ومُوَلِّداتٍ كهربائيَّةٍ أكثرَ فعاليَّةً.

تَحت: اِنْطباعٌ تصَوُّري لِفَنَّانٍ حولَ استِخْدامِ قُدْرةِ الرِّياح على نِطاقٍ واسِعٍ في المُسْتَقبَل. فمَعَ ٱزْديادِ أهميَّةِ كافَّةِ أشكالِ الطاقة المُمْكِنِ تجديدُها في القَرْنِ الحادي والعِشْرين، ستُشاهَدُ التُّرْبيناتُ الهوائيَّةُ أكثرَ فأكثرَ في المُدُنِ وعلى سُفوحِ التِّلال وعلى ٱمْتدادِ الشواطِئ.



يقومُ صانعو التُّربيناتِ الهوائيَّة حاليًّا بتَصْميمِ وَحداتٍ مُقيَّسة (مُوحَّدة المَقاييس) ستَجْعَل تَجميعَها وتَركيبَها أسرعَ وأسهَلَ وأقلَّ تكلِفةً. وإذا ما تحَقَّقتْ هٰذه التطويرات، فإنَّ أكثرَ فأكثرَ من التُّربيناتِ الهوائيَّةِ سيُقامُ في مُختلِفِ أرجاءِ العالَم. وقد تُصبِحُ التُّربيناتُ الهوائيَّةُ المُقامةُ فوقَ أبراجٍ على مَقْرُبةٍ من المنازِل والمَزارع، بخاصَّةٍ في المناطقِ النائيةِ، مَشْهدًا عاديًّا مألوفًا في السَّنواتِ المُقْبِلة.

تَسْخيرُ رِياحِ البَحْر

وقد تُقامُ حقولُ التُّربيناتِ الهوائيَّة في البَحْر، على مَبْعدةٍ من الشاطئ، حيثُ الرِّياحُ غالبًا أقوى وأقَلُّ اضطِرابًا. والواقِع، أنَّ حقلَ التُّربيناتِ الهوائيَّةِ المُشاطِئَ الأوَّلَ في العالَم مَوجودٌ حاليًّا. ففي عام 1991، أُقيمَ 11 تُربينًا هوائيًّا في البَحْر على بُعْد 1,5 كم من الشاطئ الدانِمَركيّ على مَقْرُبةٍ من ڤِنْدِيباي على جزيرةِ لُلانْد. وهي، مُجْتَمِعةً، تُنتِجُ ما مَجْموعُه 5 ميغاواط من الكَهْرباء.

حَقائقُ ومَعْلومات

إنَّ إقامةَ وَحداتٍ لِتوليدِ القُدْرةِ من الرِّياح في البَحْر على مَبْعدةٍ من الشاطئ تُواجِهُ مَشاكِلَ لا تُعاني منها حقولُ التُّربيناتِ الهوائيَّةِ المُقامةِ على اليابسة. فرياحُ البَحْر تحمِلُ رَشاشًا مِلْحيًّا أكّالًا يَسْحَلُ الأجزاءَ الفلِزِّيَّةَ في التُّربين. التُّربيناتُ الهوائيَّةُ في وَحْدة توليدِ القُدْرة المُشاطِئَة في ڤِنْدِيباي، بالدانِمَرك، مَحْمِيَّةٌ من التآكُلِ المِلْحيِّ بطريقتَيْن: الأُولى، هي أنَّ أبراجَها مَسيكةٌ لِلهواء. والثانية، هي أنَّ ضغطَ الهواءِ داخِلَ قَمَراتِ مُوَلِّداتها يُحْفَظُ على مُسْتوًى أعلى من العاديِّ، لِيمْنعَ الهواءَ الرَّطْبَ المالِحَ من السُّروبِ إليها.

الدَّانِمَرك لَديها أكثَرُ البرامجِ طُموحًا في أوروبا لِتَوليدِ القُدْرةِ من الرِّياح. وسيُقامُ مَزيدٌ من حُقولِ التُّربيناتِ الهوائيَّةِ، كَهذا الحَقْل في إبِلْتُوفْت، على مَدى الـ 30 سَنةً القادِمة. ويُقَدَّرُ أنَّه حينئذٍ سيكونُ 40% من استِهْلاكِ الكهرباءِ في الدانِمَرك قد تأمَّنَ بِقُدْرةِ الرِّياح.

مَسْرَدُ التَّعْريفات

إعصارٌ دُوَّاميّ عاصِفةٌ دُوَّاميَّةٌ عَنيفةٌ في المُحيط الأطلسي. Hurricane

البيئة العالَمُ من حَولِنا – الأرضُ، والهواءُ والنَّباتاتُ، والحيواناتُ (بما فيها البَشَر طبعًا) والأنهارُ والبِحار. Environment

التَّجْنيب تدويرُ أرياشِ تُربينٍ هوائيٍّ خارجَ الرِّيح، بحيثُ لا يَدورُ التُّربينُ بسُرعةٍ كبيرةٍ في الرِّياحِ القَويَّة. Feathering

تُربين أرياشٌ مُنَوَّاةٌ مُركَّبةٌ في عمودِ إدارةٍ طليق. إنَّ ضغطَ أيِّ غازٍ أو سائلٍ مُتحرِّكٍ على الأَرياش يُدَوِّمُ التُّربين. Turbine

تِقانيَّاتٌ بَديلة اِستِخْدامُ آليَّاتٍ ومِكْناتٍ تُنْتِجُ تلَوُّثًا أقلَّ فتكونُ ألطفَ بالناس وبالبيئة. Alternative technology

تَيْفون عاصِفةٌ دُوَّاميَّةٌ عَنيفةٌ فوقَ المُحيط. Typhoon

دَوَّار مَجْموعةُ أرياشٍ مُركَّبةٌ في قَبٍّ مَرْكزيٍّ بحيثُ يُتاحُ لها الدَّورانُ معًا. Rotor

دَوَّارُ داريُو نمَطٌ من التُّربيناتِ الهوائيَّةِ العَموديَّةِ المِحْوَر على شَكْلِ خَفَّاقةِ البَيض. Darrieus rotor

دَوَّارٌ مُسْتَعرِضُ الأَذْرُع نَمَطٌ من التُّربيناتِ الهوائيَّةِ العَموديَّةِ المِحْوَر. Cross-arm rotor

ذَيلٌ مِرْوحيُّ الشَّكْل دُولابٌ صَغيرٌ أو دَوَّارٌ مِرْوحيٌّ، على جانبِ طاحونةٍ هوائيَّةٍ، يُستَخْدمُ لإدارتِها ضِدَّ الرِّيحِ أُوتوماتيًّا. Fantail

سَيكْلون عاصِفةٌ دُوَّاميَّةٌ عَنيفةٌ في المُحيط الهِنْدي. Cyclone

الضَّغْط قُوَّةٌ يَبْذلُها شيءٌ على آخرَ مُماسٍّ له. Pressure

طاحُونةُ العَمود نَمَطٌ من طواحينِ الهواءِ تُدارُ فيها كامِلُ المُنْشَأةِ حولَ قائمٍ مَرْكزيٍّ لِجَعْلِ الأشرعةِ تُواجِهُ الرِّيح. Post mill

طاحونةٌ هوائيَّة مُنْشَأةٌ ذاتُ أشرعةٍ تَدْفَعُها الرِّياحُ فتُديرُ بِدَورِها حَجَرَ رَحًى لِطَحْنِ الحُبوب. Windmill

طُورْنادو أُنبوبٌ ضَيِّقٌ من الرِّياحِ المُدَوِّمةِ يَهُبُّ بِسُرعةٍ فائقة. Tornado

قَرْيَةٌ بيئيَّة قَرْيةٌ ذاتُ منازلَ عاليةِ الكِفايةِ الطاقيَّةِ، مُصَمَّمةٍ لِتَحْتاجَ المِقْدارَ الأقلَّ المُمكِنَ من الكَهْرباء. Eco-village

قُوَّةٌ نابذة قُوَّةٌ تَشُدُّ الجِسْمَ المُدَوِّمَ في دائرةٍ بَعيدًا عن مَرْكزِ الدائرة. Centrifugal force

كيلو واط ألفُ واط، قياسٌ لِلقُدْرةِ الكهربائيَّة. Kilowatt (kW)

كيلو واط ساعة وَحْدةُ طاقةٍ مُكافئةٍ لِـ 1000 واط من القُدْرةِ الكهربائيَّة تُستَخْدمُ لِمُدَّةِ ساعة واحدة. Kilowatt-hour (kWh)

مَحطَّةُ تَوليدِ القُدْرة مُنْشَأةٌ تَتحَوَّلُ فيها الطاقةُ المُنْطلِقةُ من وَقُودٍ مّا إلى كَهْرباء. Power station

مُنَوِّب مُوَلِّدٌ كهربائيٌّ يُستَخْدَمُ في السيَّاراتِ والمَرْكباتِ الأُخرى. Alternator

مُوَلِّدٌ كَهْربائيّ آليَّةٌ تُحَوِّلُ طاقةَ الحَرَكةِ إلى كهرباء. Generator

مُوَلِّدٌ هوائيّ تُربينٌ هوائيٌّ يُستَخْدمُ في تَوليدِ الكهرباء. Aerogenerator

ميغاواط مِليون واط، قياسٌ لِلقُدْرة الكهربائيَّة. Megawatt (MW)

هَزيزُ الأَرْياش ضَجيجٌ مُبْتَعِثٌ بِسُرعةٍ، تُصْدِرُه أرياشُ تُربينٍ هوائيٍّ تَشُقُّ الهواءَ بِدَورانِها. Blade swishing

واط وَحْدةُ قُدْرةٍ كهربائيَّة، قياسٌ لِسُرعةِ تَحَوُّلِ الطاقةِ الكهربائيَّة إلى أشكالٍ أُخرى من الطاقة، كالطاقةِ الحراريَّة. Watt (W)

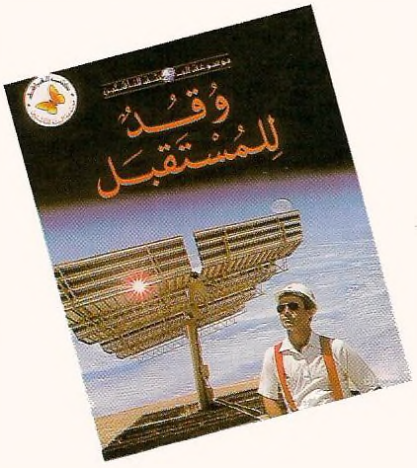
وَقُودٌ أُحْفوريّ وَقُودٌ كالفَحْمِ أو النِّفْطِ أو الغازِ الطبيعيِّ تكوَّنَ من بقايا نَباتاتٍ وحَيَواناتٍ مِجْهريَّةٍ عاشَت قبْلَ مَلايينِ السِّنين. Fossil fuel

يَتكاثَفُ يَتحَوَّلُ من بُخارٍ أو غازٍ إلى سائل. Condense

مَعْلوماتٌ إضافيَّة

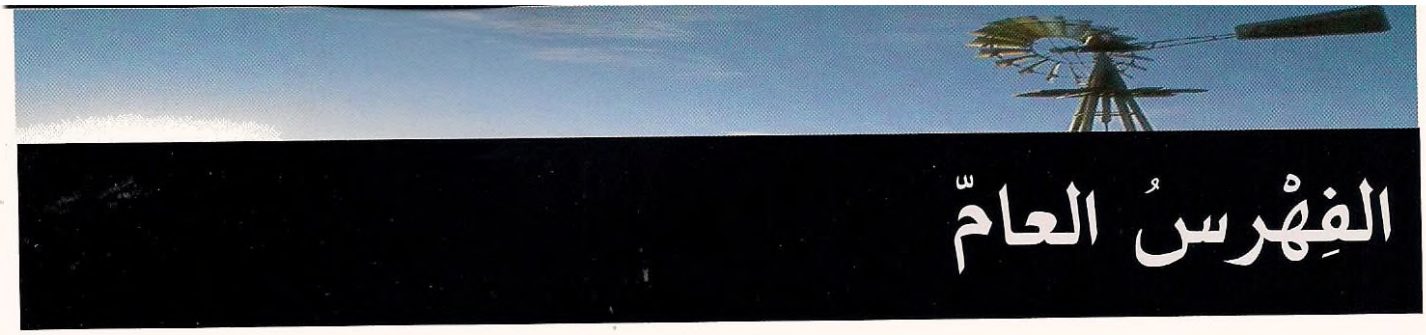
كُتُبٌ لِلمُطالَعة

- المَوسُوعةُ العِلْميَّةُ الشامِلة – مكتبة لبنان ناشرون.
- مَوسُوعةُ التطبيقات العلميَّة المُيَسَّرة.
  - الآليَّات من الرَّافِعة إلى الحاسُوب – مكتبة لبنان ناشرون.
- مَوسُوعة البيئة لِلناشِئين
  - وُقُدٌ لِلمُستَقْبَل – مكتبة لبنان ناشرون
- المَوسُوعةُ العِلْميَّةُ المُيَسَّرة – مكتبة لبنان ناشرون



اِستِهْلاكُ القُدْرةِ والطَّاقة

القُدْرةُ هي قياسٌ لِسُرعة استِهْلاك الطاقة؛ وتُقاسُ بالجُول في الثانية أو بالواط. فقد تحتاجُ مِكواةٌ كهربائيَّةٌ إلى قُدْرةِ 1000 واط لِتَشْغيلها – فيما قد لا يحتاجُ راديو جَيْب لأكثَرَ من 10 واطّات. فالطاقةُ اللّازِمةُ لِتَشْغيل هٰذا الراديو ساعةً واحدةً لنْ تُشَغِّلَ المِكْواةَ أكثَرَ من سِتِّ أعشار الدقيقة، لأنَّ المِكْواةَ تستهْلِكُ طاقةً بسُرعةٍ تزيد 100 ضعفٍ على استِهْلاك جهاز الراديو.
الرَّسْمُ المُبيَّنُ إلى اليَسار يُقارِنُ مُعدَّلاتِ القُدْرة لأَجْهزةٍ كهربائيَّةٍ مَنْزليَّة ولِمَنْزِلٍ ولِمَحطَّةٍ لِتَوليدِ القُدْرة.



الفِهْرسُ العامّ

أَبراجُ حَمْلِ الأسلاك 5
~ الطواحينِ الهوائيَّة 17، 19
اِتِّجاهُ الرِّيح 6، 7، 20
أرياشُ الدوَّار 4، 20، 24، 25، 26، 28، 32، 34، 36
أَشْرعة 11، 16، 40، 41، 42
~ مُثلَّثيَّة 14، 15
أعاصيرُ دُوَّاميَّة 12، 13
ألواحٌ شِراعيَّة 40
أمان 24، 25، 27
أمواج 8
اِنْتثارُ البُزور بواسطةِ الرِّياح 9
أنواء 12

تأثيرٌ بيئيّ 4، 8، 26-27، 33، 35، 40
التَّجْنيب 24
التُّربينات الهوائيَّة 4، 5، 20-21، 22-23، 24-25، 26، 28، 29، 30، 31، 33، 35، 36-37، 38، 44، 45
التكْلِفة والتكاليف 4، 39، 44
التلَوُّث 4، 8، 40، 44
تيَّاراتٌ هوائيَّة 9

حَجَرا رَحًى 16، 17
حُقولُ التُّرْبيناتِ الهوائيَّة 27، 30، 31، 34-35، 36-37، 44

خُطوطُ نَقْلِ القُدْرة 5

دَوَّار داريُو 21، 36
~ ساڤُونْيوس 23
ذَيْلٌ مِرْوحيُّ الشَّكْل 19
الرَّوائح 9
الرِّياح 6-7، 8-9، 10-11، 12-13، 14، 15، 18، 19، 24، 36، 40
~ التِّجاريَّة 10

السُّحُب (الغُيوم) 6، 12، 13
سُرعاتُ الرِّياح 6، 10، 11، 12
سُطوحٌ أنْسيابيَّة رافعة 21
سفُنُ الشَّاي الشراعيَّةُ السَّريعة 11
~ شِراعيَّة 11، 14، 15، 40، 42-43
صُندوقُ (أو عُلْبة) التروس 20، 28، 29
ضَجيج (ضَوضاء) 26
طائرات وَرقيَّة 10
طَحْنُ الحُبُوب 16، 18
الطُّرْنادات 12، 13
طواحينُ العَمود 18
~ هَوائيَة 4، 16-17، 18-19، 21، 32
العَدَوْلِيَّات 15

عَواصِف 8، 25
~ رَمْليَّة 8
الغَرْبيَّات 10
القُدْرةُ النَّوَويَّة 4
قُوَّةٌ نابِذة 24
كُمُّ الرِّيح 7
الكهرباء 4، 5، 22، 23، 28-29، 30، 32، 34، 36، 44، 45
مِضَخَّات مائيَّة 4، 16، 32، 39
مُنَوِّبات 23، 32
مُوَلِّدات 5، 20، 23، 26، 28، 29، 32، 44
~ هَوائيَّة 5
نَسيمُ البَحْر 6، 15
~ البَرّ 6، 15
وُقُدٌ أُحْفُوريَّة 4
يُخُوتُ تزَلُّقٍ برِّيةٍ 41
~ ~ جَليديَّة 40، 41

مَوسُوعَة الطَّاقَة المُستَدامَة

ليس خافيًا طبعًا أنّ مواردَ الطاقة من الفحم والزيت والغاز الطبيعي آيلةٌ إلى النَّفاد - رُبما ضمن أواخِر هذا القرن. وأنه من الضروري تَقصّي مَواردِ وُقُدٍ بَديلة أو تطويرُ مصادرِ طاقةٍ مُتَجدِّدةٍ، غيرِ مُلوِّثةٍ للجوِّ والبيئةِ حولَنا، بالسُّرعَةِ الكافية لِتلافي افتقارِنا مُسْتَقْبلًا إلى حاجاتنا الضرورية من الطاقة.

في هذه السِّلسلة من **موسوعة الطاقة المُستدامة** سنَتَحرَّى إمكانيةَ تَسخير القُدرةِ الشمسيَّة المُباشرة إضافةً إلى قُدرةِ الرِّياحِ والأنهارِ والبحارِ - بِمُسْتوًى كافٍ لِضمانِ تَوفيرِ احتياجاتِنا الضَّروريَّة المُستقبليّة من الطاقة.

هذا الجُزء من الموسوعة يتناول قدرةَ الرِّياح من حيث

- تسخيرُ قدرة الرِّياح طاقيًّا
- التُّربيناتُ والطواحين الهوائيّة لِضَخِّ الماء وطحن الحبوب
- ناقلات النِّفط العملاقة المُسيَّرة بقُدرة الرياح
- إمكانيةُ أن تزوِّدَنا قدرةُ الرياح بخُمْس احتياجاتنا من الطاقة
- استخدامُ الطاقة دونَ الإضرار بالبيئة

في هذهِ السِّلسِلة

- الوقُودُ الأُحفوريَّة
- القُدرَةُ الشَّمْسِيَّة
- القُدرَةُ النَّوَويَّة
- الطّاقَة الحَراريّة الأرضيّة وَالطّاقَة الحَيَويّة
- قُدرَة الرِّيَاح
- القُدرَة المَائيَّة

ISBN 9953-1-0482-4
9 789953 104829
WIND POWER
(ARABIC BUTTERFLY BOOKS)
مكتبة لبنان ناشرون